

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

### ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée

## La ligne grande vitesse Est



### Partie 1 : Viaduc de la Savoureuse

(sur la ligne TGV Est)



### Partie 2 : Véhicule électrique F-City

(assurant un service de type « Autolib » dans une gare TGV)

## CORRIGÉ

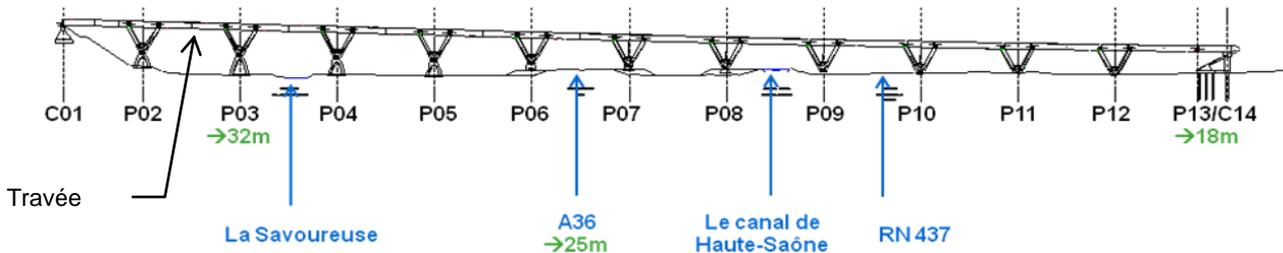
- **sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **partie 1 (1 heure)** ..... pages 2 à 5
  - **partie 2 (3 heures)** ..... pages 6 à 14
- **documents techniques** ..... pages 15 à 23
- **documents réponses** ..... pages 24 à 25

**Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.**  
**Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 24 à 25) seront à rendre agrafés aux copies.**

Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D	Session 2012
Enseignements technologiques transversaux	Code : (...) <b>Page 1 / 30</b>

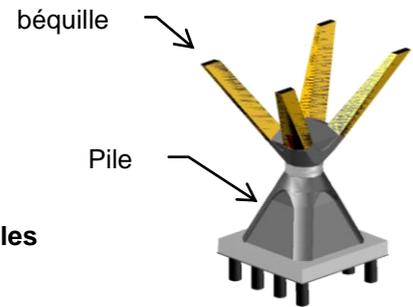
# PARTIE 1 : LE VIADUC DE LA SAVOUREUSE.

La réalisation de la ligne à grande vitesse EST a nécessité la réalisation de nombreux viaducs et tunnels. Celui de la rivière « La Savoureuse » est de conception remarquable (voir page de garde). En effet, la vallée de la savoureuse relie les agglomérations de Montbéliard et Belfort et est empruntée par de nombreuses voies de communication (Autoroute A36, canal de la Haute Saône, RN437). Pour minimiser l'impact visuel du viaduc permettant le passage de la Ligne Grande Vitesse au dessus de la vallée, les architectes ont éliminé les ouvrages à haubans (câbles), trop voyants, au profit d'une infrastructure « aérée » s'appuyant sur 12 « tétrapodes » discrets.



Au final en prenant en compte les contraintes précédemment exposées, le viaduc est constitué de douze travées indépendantes de 45,55 mètres, appuyées aux extrémités sur deux des quatre béquilles de chacun des tétrapodes.

Remarque : 1Tétrapode = 1pile + 4 béquilles



**Choix et problème technique :** comme le montrent les photos ci-dessous, des choix économiques et techniques ont contraint les ingénieurs à réaliser le viaduc par regroupements de six travées temporairement soudées entre elles. Chaque groupe de travées est tiré (lançage) par d'énormes vérins au dessus des tétrapodes concernés puis descendu en appui sur les béquilles et enfin segmenté (suppression des liaisons par soudures des travées). **Il reste alors à garantir que les efforts sur chaque pilier soient équilibrés.**



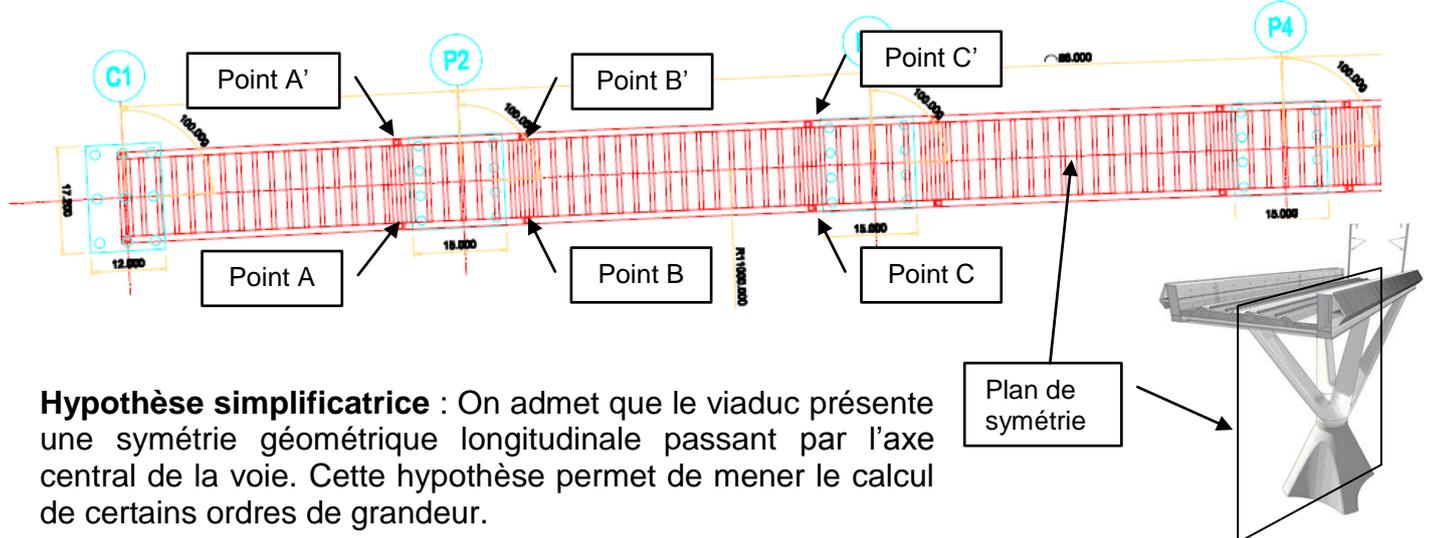
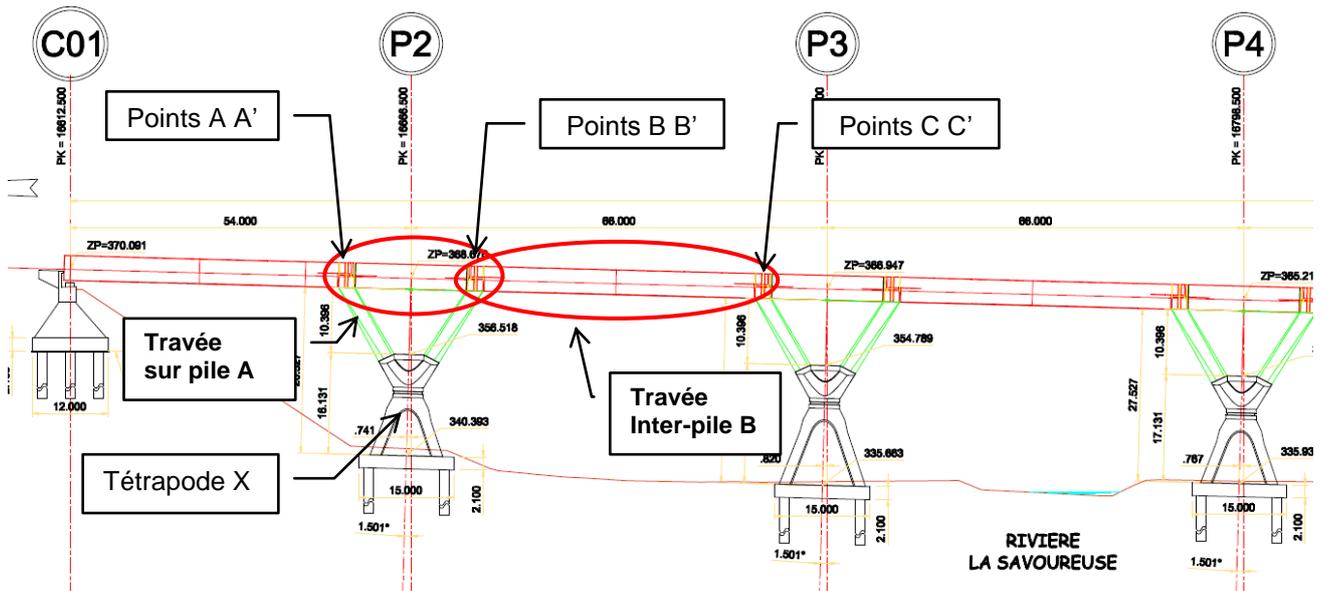
Fabrication sur le sol

Zone de liaison des travées par soudure



Arrivée d'un groupe de travées

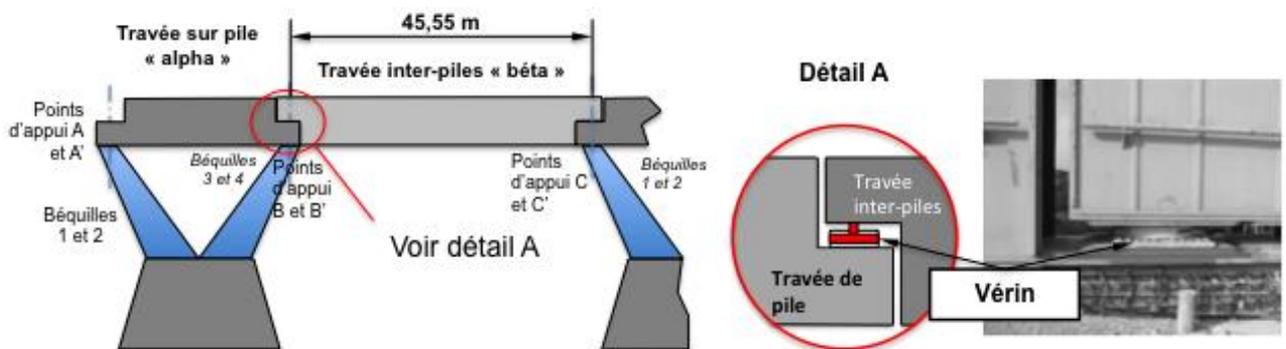
Le tablier du viaduc est constitué d'une succession de tronçons de deux longueurs différentes : les travées sur pile, situées à l'aplomb de chaque tétrapode, et les travées inter-piles, reliant deux tétrapodes.



**Hypothèse simplificatrice** : On admet que le viaduc présente une symétrie géométrique longitudinale passant par l'axe central de la voie. Cette hypothèse permet de mener le calcul de certains ordres de grandeur.

**Mise en situation du modèle simplifié :**

La modélisation proposée prend en compte deux travées consécutives ramenées dans le plan de symétrie longitudinal du viaduc.



**Déroulement de la mise en appui:** Suite à la phase de « lancement », chaque groupe de travées (alpha+beta) repose sur les béquilles de chaque tétrapode par l'intermédiaire de chaque « travée sur pile » alpha. Le réglage des points d'appui A, A', B, B' permet de

garantir leur coplanéité (les 4 points appartiennent à un même plan) et une répartition équilibrée de la masse de la travée « Alpha » sur ses 4 appuis.

Dans une seconde phase, les travées (*Alpha+Bêta*) sont dessoudées, libérant ainsi la travée « inter-pile » bêta qui va reposer sur les points BB' et CC' sans que l'on sache précisément si cette action est équitablement répartie sur chaque béquille.

Pour quantifier et exercer l'effort supporté par chaque béquille, on interpose un vérin hydraulique entre chaque appui inter-travées. Celui-ci aura un rôle de dynamomètre ( $F=P.S$ ). Par l'action sur les vérins, les efforts seront connus et équilibrés sur chaque béquille qui supporte alors la même charge (condition de résistance).

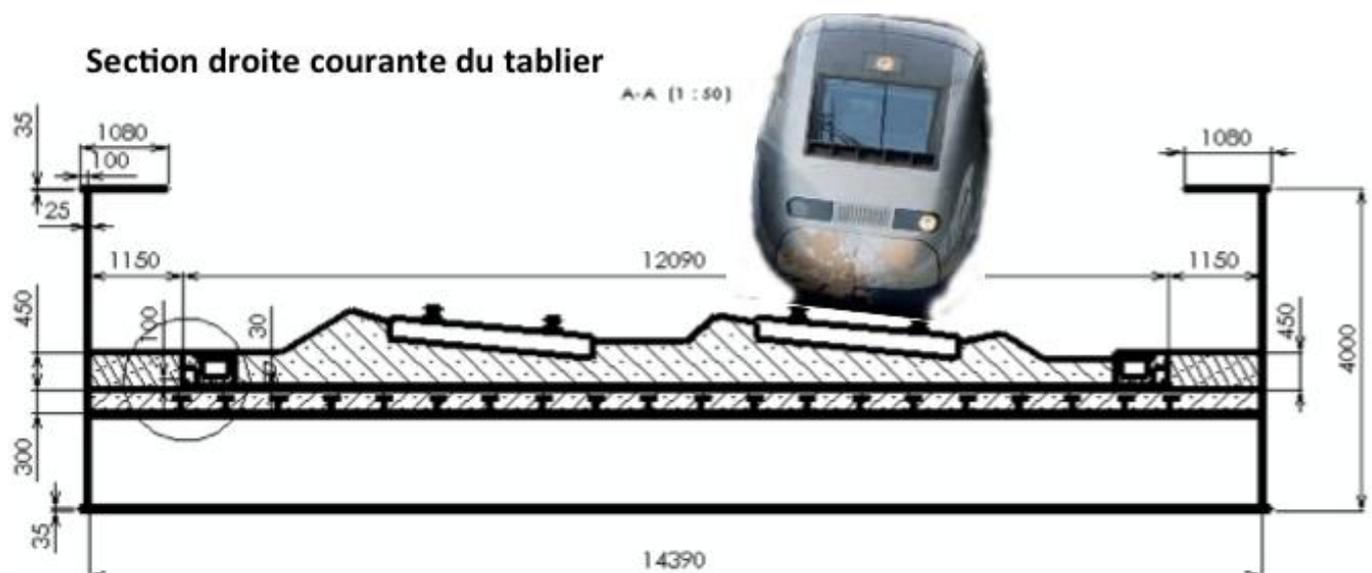
*Les vérins sont ensuite démontés et remplacés par des cales de réglages des bonnes épaisseurs.*

## 1 – Calculs des charges :

L'objectif de cette partie est de calculer la charge de la travée P2-P3 du tablier, afin de déterminer l'effort à développer par les 4 vérins.

On donne ci-dessous la coupe transversale (section courante) d'une travée. Cette section est modélisée sur le document réponse DR1.

*Remarque :* bien que le tablier du viaduc soit horizontal, la voie est légèrement inclinée. C'est un virage relevé, car le viaduc s'inscrit dans une courbe de rayon 11 km. On atténue ainsi l'effet d'inertie dû à la vitesse importante ( $350 \text{ km.h}^{-1}$ ) du TGV.



Les données des matériaux utilisés (nature et dimensions) sont fournies sur le document réponse DR1.

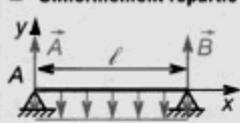
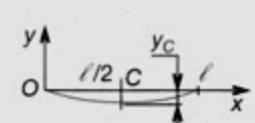
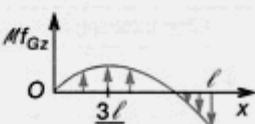
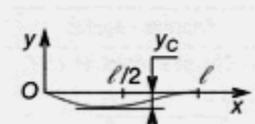
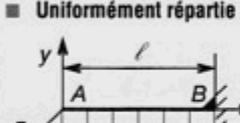
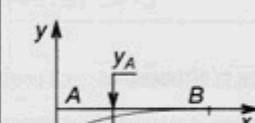
Question 1.1 **Repérer**, (sur la perspective doc.DR1), les éléments du tableau numérotés de 1 à 10.  
Voir DR 1

Question 1.2 **Effectuer, en complétant le tableau du document réponse DR1** (cases grisées), le calcul des charges linéaires, pour les éléments ①, ② et ③, en  $\text{kN.m}^{-1}$ . En déduire la charge linéaire totale, notée  $p$ , de la travée. **Calculer** le poids total d'une travée « inter-pile ».

On assimile la travée à une poutre soumise à une charge uniformément répartie (le poids de l'ensemble).

**Données à prendre en compte :**

- Longueur d'une travée inter-piles = 45,55 m
- Module d'élasticité de l'acier  $E_{acier} = 210\,000\text{ MPa}$
- Moment quadratique d'une section droite de la travée :  $I_{Gz} = 0,9\text{ m}^4$

<p>■ Uniformément répartie</p>  $\begin{cases} \vec{A} = \vec{B} = \frac{p \cdot l}{2} \cdot \vec{y}; \vec{M}_A = \vec{0} \\ \vec{M}_A = \vec{M}_B = \vec{0}; \vec{M}_B = \vec{0} \end{cases}$	 $T_y = +px - p \cdot l/2$ <p>en A : <math>T_y = -p \cdot l/2</math> en B : <math>T_y = p \cdot l/2</math></p>	 <p><math>Mf_{Gz}</math> max pour <math>x = l/2</math></p> $Mf_{Gz} \text{ max} = \frac{p \cdot l^2}{8}$	 <p>Flèche en C : <math>x_C = \frac{l}{2}</math></p> $y_C = -\frac{5p \cdot l^4}{384 E \cdot I_{Gz}}$
<p>■ Uniformément répartie</p>  $\begin{cases} \vec{A} = \frac{3p \cdot l}{8} \cdot \vec{y} \\ \vec{B} = \frac{5p \cdot l}{8} \cdot \vec{y} \\ \vec{M}_B = -\frac{p \cdot l^2}{8} \cdot \vec{z} \end{cases}$	 $T_y = px - 3p \cdot l/8$ <p>en A : <math>T_y = -3p \cdot l/8</math> en B : <math>T_y = 5p \cdot l/8</math></p>	 <p><math>Mf_{Gz}</math> est max pour <math>x = \frac{3l}{8}</math></p> $Mf_{Gz} \text{ max} = \frac{9p \cdot l^2}{128}$	 <p>Flèche en C : <math>x = \frac{l}{2}</math></p> $y_C = -\frac{p \cdot l^4}{192 E \cdot I_{Gz}}$
<p>■ Uniformément répartie</p>  <p><math>p</math> : coefficient de charge (N / m)</p> $\begin{cases} \vec{B} = p \cdot l \cdot \vec{y} \\ \vec{M}_B = -\frac{p \cdot l^2}{2} \cdot \vec{z} \end{cases}$	 <p>Effort tranchant max en B :</p> $T_{y \text{ max}} = p \cdot l$	 <p>Moment de flexion en B :</p> $Mf_{Gz} = -\frac{p \cdot l^2}{2}$	 <p>Flèche en A :</p> $y_A = -\frac{p \cdot l^4}{8 E \cdot I_{Gz}}$

Question 1.3 À l'aide de l'extrait de formulaire ci dessus, **calculer** les actions de la travée « inter-pile » aux appuis et en **déduire** l'effort à régler dans chaque vérin du tétrapode lors de la mise en place sur les appuis définitifs.

$\frac{1}{2}$  longueur d'une travée inter-pile pour 2 vérins

$$\|\vec{B}\| = \|\vec{B}'\| = \|\vec{C}\| = \|\vec{C}'\| = \frac{p \cdot L_{interpile}}{4} = 3815 \text{ kN}$$

Pour le confort des voyageurs (d'après les critères simplifiés du fascicule 2.01), la flèche maximale d'une travée doit être inférieure à 24 mm. Les conditions, les plus défavorables, correspondent à la présence de deux rames de TGV sur le viaduc ce qui donne une charge linéaire totale  $p_T = 378 \text{ kN.m}^{-1}$

Question 1.4 À l'aide du document ci-dessus, **calculer** la flèche maximale  $f_M$  d'une travée. **Identifier** les éléments prépondérants de la structure (repérés de 1 à 10) qui évitent une flèche trop importante. **Justifier** votre réponse. **Conclure** quant au respect du confort des voyageurs. Que peut-on envisager dans le cas du non respect de cette flèche maximale ?

$$f_M = \frac{5p.L^4}{384 E.I_{G,z}} = \frac{5 \times 378 \times (45,55 \times 10^3)^4}{384 \times 210000 \times 0,9 \times 10^{12}} \text{ d'où } f_M = 112,1 \text{ mm}$$

Les éléments qui rigidifient la structure sont les deux poutres principales ©. Le fait que ces poutres soient positionnées sur le « champ », non pas à « plat », le moment quadratique est plus important donc diminue la flèche.

$f_M > 24 \text{ mm}$ , on ne respecte pas la condition de confort. Le constructeur a réalisé une contreflèche de 11 cm.

# PARTIE 2 : LE VEHICULE ELECTRIQUE F-CITY.

## PROBLEMATIQUE GENERALE.

La gare TGV se trouve sur un site médian entre Belfort et Montbéliard. Afin de satisfaire une demande de ses usagers, la SNCF propose un service de location de véhicules électriques permettant de réaliser des trajets de courte distance.

La conception de ces véhicules doit pouvoir répondre complètement aux impératifs d'un concept « Autolib », à savoir :

- une location facile et rapide de l'utilisateur,
- des performances suffisantes pour s'insérer facilement dans la circulation,
- une autonomie de 100 km,
- un système de gestion permettant de signaler le taux de charge des batteries du véhicule.
- un confort satisfaisant des usagers pour des trajets urbains.

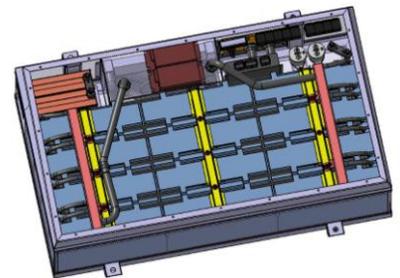
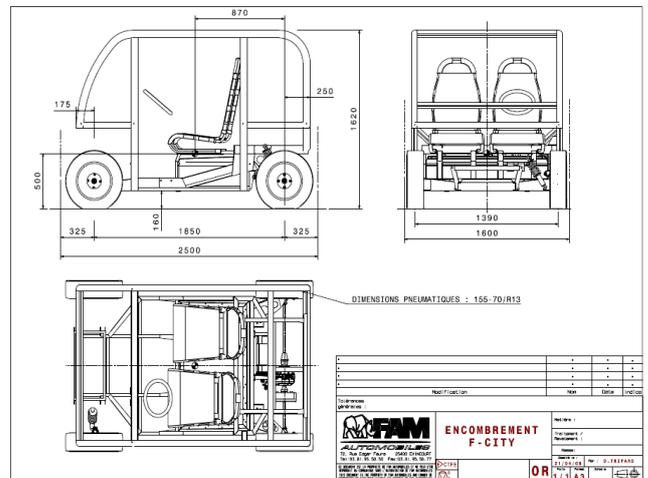
## PRESENTATION DU SYSTEME.

Fabriquée par la société FAM Automobiles, entreprise basée à Etupes dans le nord Franche-Comté, la F-City est une petite voiture électrique qui peut être utilisée en libre accès et réservée d'un simple appel téléphonique.



### Description générale.

- Nombre de places : 2.
- Moteur asynchrone électrique triphasé 48 V ~ , 8 kW,  $T_{max}$  45 Nm. Groupe motopropulseur en position arrière.
- Suspensions : 4 roues indépendantes, à l'arrière bras tirés, à l'avant triangles superposés.
- Systèmes batteries : rack amovible type Ni-Mh avec 12 modules indépendants 6V/200 Ah, énergie embarquée 14,4 kWh, puissance maximale 24 kW, refroidissement par eau en circuit fermé. Le rack amovible d'une masse de 273 kg est fixé en 4 points à la structure et participe à la rigidité du véhicule
- Système électrique : chaîne de traction 72 V/200 Ah, équipements de bord 12 V/350W, batterie de servitude 12 V/40Ah.
- Masse : total en ordre de marche 840 kg, charge utile (coffre) 150 kg, total autorisée en charge 1140 kg.
- Vitesse maximale : 65 km/h.
- Accélération : de 0 à 30 km/h en 5,5 secondes.
- Décollage en pente maximale : 16 %.
- Autonomie : de 80 à 100 km selon le profil d'utilisation.



## TRAVAIL DEMANDE.

### 2.1- Comment proposer le véhicule en libre-service ?

L'objectif de cette partie est d'analyser la solution retenue par le constructeur permettant de proposer le véhicule en libre-service.

Question 2.1.1 **Énoncer** le besoin principal qui a donné lieu à la création du véhicule F-City

Il est essentiel, dans le cadre de la mobilité urbaine et durable, de pouvoir proposer dès la sortie de la gare un petit véhicule 4 roues non polluant permettant de se déplacer sur de courtes distances dans les centres-villes. Ce véhicule doit être facilement réservé, loué sans perte de temps et utilisable par la personne. Pour la très grande majorité des déplacements 2 places suffisent.

Question 2.1.2 À l'aide des diagrammes des exigences et des interactions du concept Vu-Log (donnés sur le document DT1), **expliquer** les étapes successives nécessaires à la prise d'un véhicule.

Pour prendre un véhicule, l'utilisateur doit :

- Géo-localiser le véhicule le plus proche, à l'aide de son téléphone.
- Réserver le véhicule à l'aide de son identifiant et mot de passe.
- Prendre en charge le véhicule à l'aide de sa carte d'abonné.

### 2.2 - Vérification de la vitesse du véhicule en montée.

L'objectif de cette partie est de vérifier que le véhicule F-City est capable d'atteindre une vitesse de  $10 \text{ km.h}^{-1}$  dans une montée en pente de 10% ( $\text{tg } \alpha = 0,1$ ) pour pouvoir facilement s'insérer dans un flot de circulation.

Afin de vérifier cette exigence ; il est proposé d'isoler le véhicule (1) en montée. La modélisation des actions mécaniques (forces) est donnée sur le document technique DT2.

Question 2.2.1 **Identifier** chacune des forces en justifiant leur provenance.

Voir DT 2

En A : action du sol sur la roue motrice (propulsion), en tenant compte de la résistance au roulement  $\lambda$  -  $\overrightarrow{A_{0 \rightarrow 1}}$

En G : action de la pesanteur (poids) -  $\overrightarrow{P}$

En G : résistance à la « pénétration dans l'air », force aérodynamique -  $\overrightarrow{F_{aéro}}$

En B : action du sol sur la roue avant en tenant compte de la résistance au roulement  $\lambda$  -  $\overrightarrow{B_{0 \rightarrow 1}}$ .

À partir de la modélisation proposée sur le document DT2, une étude dynamique simplifiée donne l'expression du couple sur l'essieu motorisé :

$T_{roues} = \lambda.m.g.\cos\alpha + R.m.a + R.m.g.\sin\alpha + R.F_{aéro}$  (avec  $m$  : masse du véhicule,  $a$  : accélération du véhicule,  $R$  rayon de la roue motrice).

On suppose que le véhicule roule en ligne droite. Le différentiel n'intervient pas dans la cinématique de la transmission. La vitesse des deux roues motrices est identique de même que la puissance transmise à chaque roue. La chaîne de transmission du véhicule est représentée sur le document technique DT2

**Question 2.2.2** **Établir** l'expression littérale du rapport de réduction du réducteur  $k = \frac{\omega_{roue/0}}{\omega_{m/0}}$

Voir DT 2

en fonction du nombre de dents des différentes roues et pignons le constituant. **Effectuer** l'application numérique.

$$k = \frac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_4}$$

Application numérique :  $k = 0,1 = \frac{1}{9,95}$

**Question 2.2.3** **Exprimer** le couple moteur  $T_{mot}$  en fonction  $T_{roues}$  ;  $k$  et du rendement de la transmission  $\eta_T$ .

$$T_{mot} = \frac{k.T_{roues}}{\eta}$$

**Question 2.2.4** **Simplifier** l'expression du couple moteur si on se place en régime établi (accélération nulle et  $V_{G \in 1/0} = \text{Cste}$ ). **Faire** l'application numérique, pour ce couple  $T_{mot}$  en tenant compte des données ci-dessous.

$$\|F_{aéro}\| = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot \|V_{G \in 1/0}\|^2 \cdot C_x \cdot S \text{ avec :}$$

- Surface projetée pour maître couple :  $S = 2,1 \text{ m}^2$ ,
- Masse volumique de l'air :  $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$
- Coefficient aérodynamique :  $C_x = 0,37$
- Résistance au roulement :  $\lambda = 0,0104 \text{ m}$
- Masse du véhicule :  $m = 870 \text{ kg}$
- Rayon de la roue  $R = 278 \text{ mm}$
- Pente de 10%.
- Rendement de la transmission  $\eta_T = 0,95$

$$T_{mot} = \frac{k.T_{roues}}{\eta} = \frac{k \lambda.m.g.\cos\alpha + R.m.g.\sin\alpha + R.F_{aéro}}{\eta}$$

$$T_{mot} = 0,1 \times \frac{0,0104 \times 870 \times 9,81 \times \cos(5,71^\circ) + 0,278 \left[ 870 \times 9,81 \times \sin(5,71^\circ) + \frac{1}{2} \times 1,2 \times 0,37 \times 2,1 \times \left(\frac{10}{3,6}\right)^2 \right]}{0,95}$$

$$T_{mot} = 34,25 \text{ N.m}$$

Question 2.2.5 **Établir** l'expression littérale la vitesse de rotation du moteur  $\omega_{m/0}$  en fonction de la vitesse linéaire  $V_{1/0}$  du véhicule. **Effectuer** l'application numérique pour la vitesse souhaitée ( $10 \text{ km.h}^{-1}$ ).

$$\omega_{m/0} = \frac{V_{1/0}}{R.k} = \frac{10}{3,6 \times 0,278 \times 0,1} \quad \text{d'où } \omega_{m/0} = 100 \text{ rad.s}^{-1}$$

Question 2.2.6 **Conclure** quant au respect de la première exigence.

$$T_{\text{mot}} < T_{\text{max}}$$

$$P_{\text{mot}} = T_{\text{mot}} \cdot \omega_{m/0} = 34,25 \times 100 = 3425$$

$$\text{d'où } P_{\text{mot}} = 0,35 \text{ kW} < 8 \text{ kW}$$

Le moteur permet de gravir des pentes de 10% à une vitesse de  $10 \text{ km.h}^{-1}$

### 2.3 - Autonomie du véhicule.

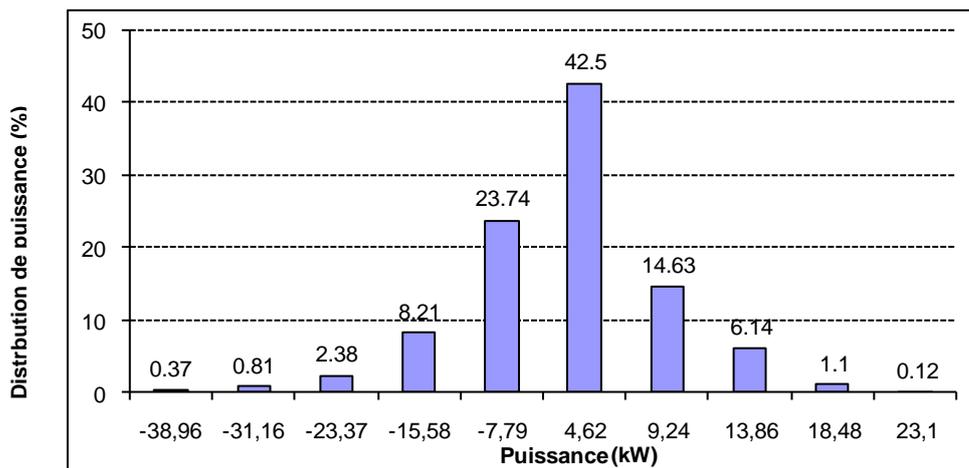
L'objectif de cette partie est de vérifier une autonomie du véhicule de 100 km pour des déplacements dans le pays de Montbéliard dont le parcours type est de 10,6 km réalisé en 23 min.

Question 2.3.1 **Identifier**, à l'aide du diagramme de bloc interne de la chaîne d'énergie du véhicule fourni document DT1, les composants qui réalisent les fonctions suivantes : « stocker » ; « distribuer » ; « convertir » ; « transmettre ».

Voir DT 1

Batteries (stocker) – Variateur de vitesse (distribuer) – Moteur (convertir)  
Réducteur + Cardans + roues (transmettre).

La distribution de puissance relevée au niveau de l'essieu lors du parcours est donnée ci-dessous.



Cet histogramme représente le pourcentage du temps de parcours en fonction de différentes valeurs de la puissance transmise. Ainsi on peut dire que la puissance sur l'essieu a été de 4,62 kW pendant 42,5% du temps du parcours.

Le **rendement** de la chaîne d'énergie est identique et égal à 77 % quel que soit le mode de transfert de l'énergie.

Question 2.3.2 **Calculer** la valeur de la puissance moyenne  $P_{bat}$  au niveau de la batterie pour ce parcours.

$$P_{bat} = \frac{P_{fournie\ par\ la\ batterie}}{\eta} - P_{reçue\ par\ la\ batterie} \times \eta$$

$$= \frac{4,62 \times 42,5 + 9,24 \times 14,63 + 13,86 \times 6,14 + 18,48 \times 1,1 + 23,1 \times 0,12}{0,77 \times 100} - \frac{7,79 \times 23,74 + 15,58 \times 8,21 + 23,37 \times 2,38 + 31,16 \times 0,81 + 38,96 \times 0,37}{100} \times 0,77$$

d'où  $P_{bat} = 2,568\ kW$

Question 2.3.3 **Calculer** la valeur de l'énergie fournie  $W_{batterie}$  par la batterie pour ce parcours. **L'exprimer** en kW.h.

$$W_{batterie} = P_{bat} \cdot t = 2,568 \times \frac{23}{60} \quad d'où \quad W_{batterie} = 0,985\ kW.h$$

L'énergie consommée par les accessoires lors du parcours est estimée à 96 Wh.

Question 2.3.4 Pour des raisons de garantie « constructeur », la tolérance sur la profondeur de décharge des batteries est de 80 %.

**Calculer** l'énergie nécessaire pour effectuer 100 km. **Conclure** quant au respect de l'exigence sur l'autonomie du véhicule.

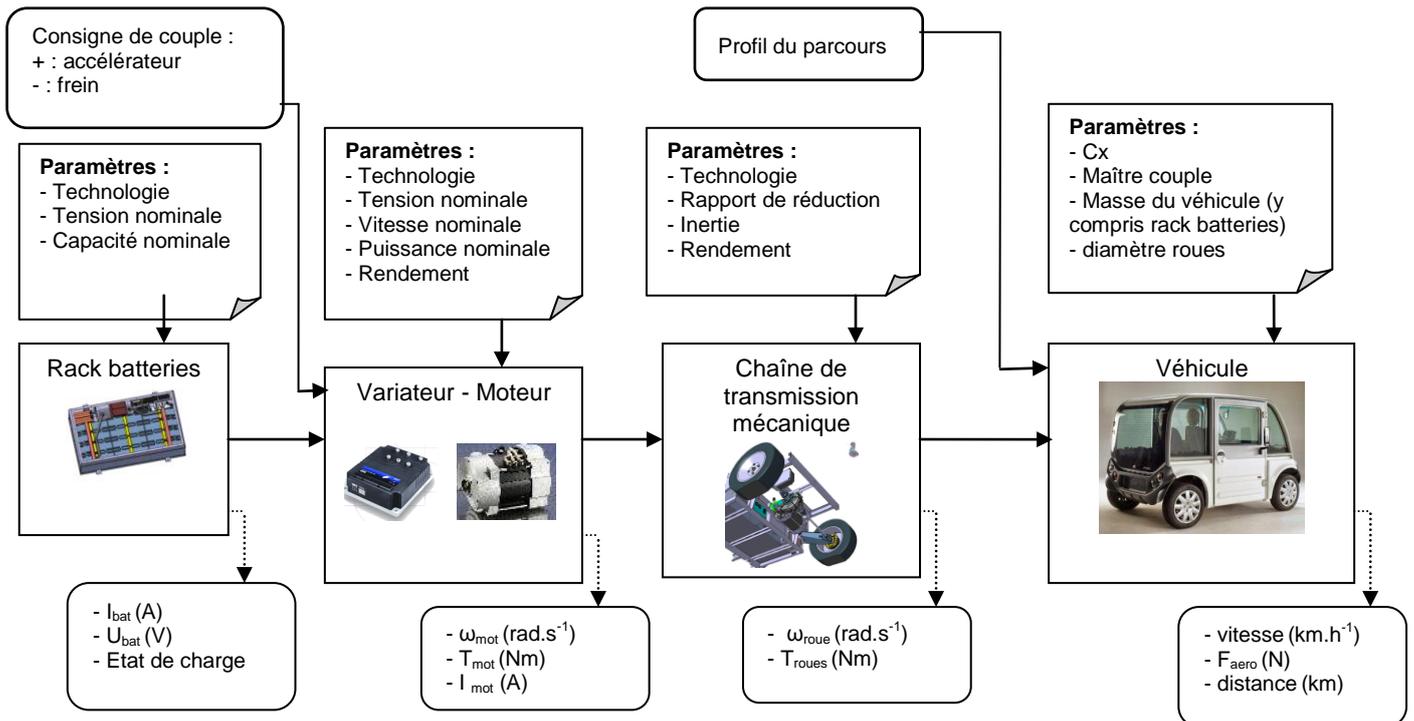
$$W_{nécessaire} = W_{batterie} + W_{accessoires} \frac{100}{10,6} = 985 + 96 \frac{100}{10,6} \quad d'où \quad W_{nécessaire} = 10,198\ kW.h$$

Energie disponible batterie pour une décharge maximale de 80% :

$$W_{disponible\ à\ 80\%} = 14,4 \times 0,8 = 11,52 > 10,2\ kW.h. \quad \text{On vérifie bien l'exigence d'autonomie.}$$

Pour des raisons de coût, le constructeur envisage de remplacer les batteries de type Ni-Mh par des batteries Acide-Plomb.

Afin de valider ce choix, une simulation est réalisée sous un logiciel d'analyse comportementale en prenant comme hypothèse le parcours type de 10,6 km. Le modèle retenu pour l'analyse comportementale est le suivant :



Question 2.3.5 **Indiquer** les 2 paramètres à modifier pour passer du modèle de simulation « Ni-Mh » au modèle « Acide-Plomb ». **Proposer** un choix ou une valeur pour ces 2 paramètres. On rappelle que l'énergie massique de batteries au plomb est 2 fois moins importante que celle de batteries Ni-Mh.

Les deux paramètres sont :

- Le type de batterie (passer de Ni-Mh à Acide-Plomb)
- La masse de la nouvelle batterie qui intervient dans la masse totale du véhicule (La masse de la batterie est deux fois supérieure car l'énergie massique est 2 fois moins importante en Acide-Plomb).

Les fenêtres données page DT3 fournissent les résultats des simulations pour les 2 modèles établis.

Question 2.3.6 **Indiquer** le seuil de charge du rack batterie pour chaque technologie à la fin du parcours de 10,6 km. **Calculer** l'autonomie du véhicule pour chaque modèle en tenant compte de la profondeur de décharge admise et **comparer** les résultats obtenus. **Conclure** quant à la faisabilité de ce projet par le constructeur si le critère principal retenu est le respect de l'autonomie de 100 km.

Seuil de charge

- Batterie Ni-Mh : 91,8%
- Batterie Plomb : 89,9%

Autonomie :

- Batterie Ni-Mh :  $\frac{100-91,8}{10,6} = 77,3\%$  de décharge (pour 100 km) < 80%
- Batterie plomb :  $\frac{100-89,9}{10,6} = 95\%$  de décharge (pour 100 km) > 80%

Ce projet ne respecte pas le critère d'autonomie. Pour tenir les 100km avec des batteries plomb, il faudrait augmenter la quantité d'énergie embarquée.

## 2.4 - Transmission de l'information du taux de charge batterie.

*L'objectif de cette partie est de vérifier que l'information du taux de charge batterie du véhicule est transmise et traitée via le bus CAN avec d'autres tout en respectant une priorité. Des éléments d'informations sur le principe de ce bus sont donnés dans le document technique DT 4.*

Dans le véhicule F-City, le bus CAN permet de transmettre de nombreuses informations. Lors d'un test, les 3 informations suivantes sont retenues : l'appui sur la pédale de frein, l'état de charge batterie et la détection de la fenêtre ouverte côté conducteur.

Question 2.4.1 **Attribuer** les priorités pour ces 3 informations en fonction de leurs rôles.

Voir DT 4

Priorité 1 : les freins – critère de sécurité

Priorité 2 : taux de charge de la batterie.

Priorité 3 : détection de la vitre ouverte coté conducteur.

Le relevé de ces 3 informations est réalisé via un module d'acquisition. Les identifiants relevés lors de l'acquisition sont :

- 0X58E
- 0X60E
- 0X70E

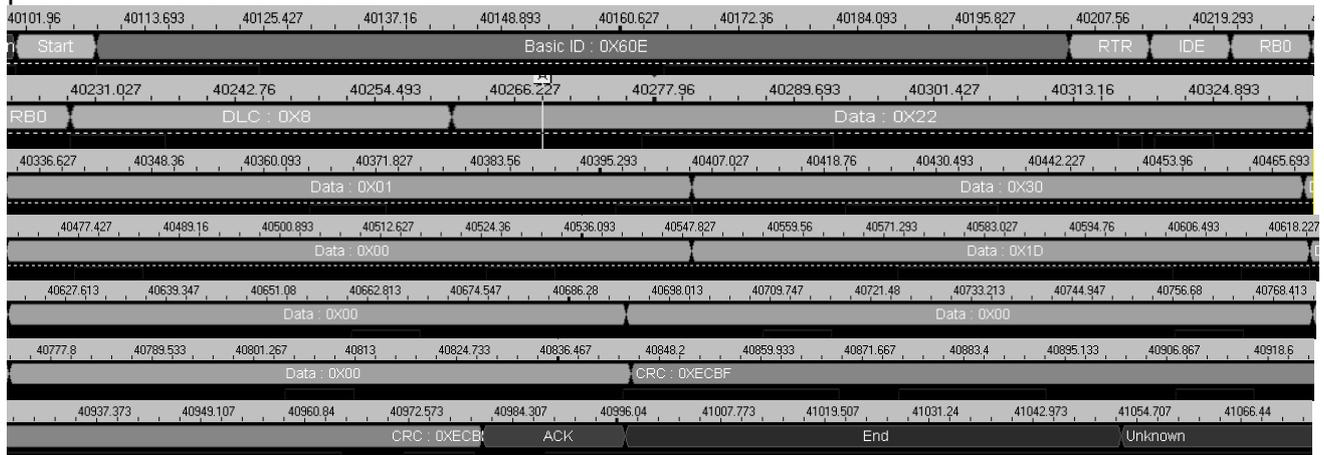
Question 2.4.2 Sachant que l'identifiant 0X60 E est celui de la batterie, **indiquer** celui lié au freinage et celui lié à la détection de la fenêtre ouverte côté conducteur. **Justifier** votre réponse

Voir DT 4

C'est l'identifiant dont l'adresse est la plus faible qui est prioritaire (DT4).

- 0X58E : frein
- 0X60E : taux de charge batterie
- 0X70E : vitre ouverte

La trame relevée sur le bus CAN fournie ci-dessous permet, entre autres, de connaître le taux de charge (exprimé en %) des batteries du véhicule. Sa valeur est donnée par le 5<sup>ème</sup> octet des données.



La valeur du taux de charge en %, codée sur un octet, est représentée par un nombre entier avec une précision de 1.

Question 2.4.3 **Relever**, sur la trame ci-dessus, la valeur en hexadécimal du « taux de charge batterie » et **calculer** sa valeur en décimal.

La cinquième donnée Data = 0X1D soit 29 en décimal. Taux de charge de 29%.

Question 2.4.4 **Conclure** sur la capacité du bus CAN à transmettre l'information « taux de charge batterie ». Au vu du résultat du taux de charge batterie obtenu à la question précédente et transmis à distance au gestionnaire de flotte, **justifier** le choix de ce dernier d'interdire la possibilité de louer ce véhicule.

Le bus CAN est capable de transmettre le taux de charge de la batterie. Celui-ci étant de 29% proche de 20% (taux de décharge maxi de 80%), il paraît judicieux d'interdire une nouvelle location de ce véhicule (autonomie trop faible). L'agent de maintenance viendra changer le rack batterie.

## 2.5 - Confort des usagers en parcours urbain et capacité du bras à résister.

**Problème posé :** Vérifier que la partie suspension arrière (bras + amortisseur) permet d'assurer :

- un confort suffisant des passagers (**partie A**).

-la sécurité des utilisateurs de façon certaine en résistant aux contraintes quotidiennes engendrées par la route (ralentisseurs, passages piétons surélevés, ...) et par la charge embarquée, en effet l'essieu arrière du véhicule F-City est particulièrement sollicité en raison de la masse du rack batterie placé à cet endroit (**partie B**).

**Partie A :** pour assurer un bon confort des passagers, il convient d'atténuer le plus possible les fréquences indésirables.

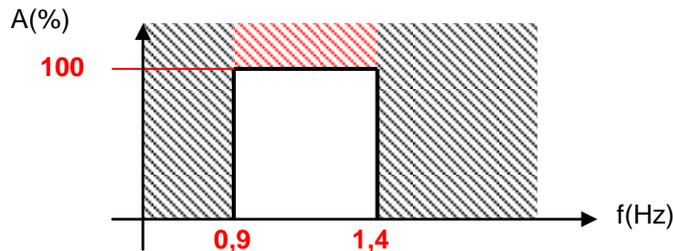
Hypothèse : le modèle d'étude retenu est réduit à un quart du véhicule.

Fréquence (Hz)	Sensation subjective	Tolérance
De 5 à 2,5	Tressautement pénible	Rapidement intolérable
De 2,5 à 1,4	Sec et sportif	À la limite du tolérable, fatigante à la longue
De 1,4 à 0,9	Confortable et moelleux	Bonne tolérance
De 0,9 à 0,7	Sensation « bateau »	Tendance aux malaises, nausées

**Dans cette étude, l'amortisseur sera considéré comme un filtre.**

Question 2.5.1 **Préciser** quel serait le type de filtre idéal. En **faire** une représentation graphique. **Préciser** la valeur des fréquences de coupure.

**Un filtre passe bande idéal**



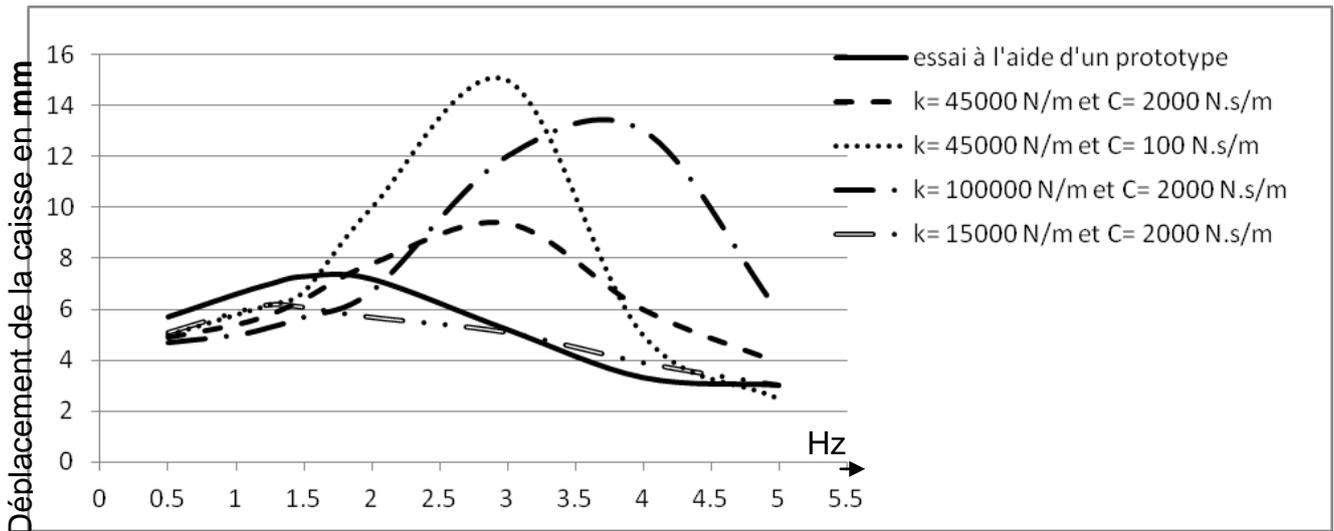
La réponse de la caisse du véhicule à une sollicitation fréquentielle dépend du réglage de la suspension. Des études par simulation sont réalisées pour rechercher la solution technologique la mieux adaptée. Pour ce faire, on applique un déplacement vertical d'amplitude 4mm (imposée par le prototype) de fréquence variant de 0.7Hz à 5Hz.

Caractéristiques :

- Amortisseur télescopique RECORD
  - Raideur :  $k_{\text{amortisseur}} = 45000 \text{ N.m}^{-1}$
  - Coefficient d'amortissement :  $C_{\text{amortisseur}} = 2000 \text{ N.s.m}^{-1}$
  - Course : 284 mm
- Masses : ensemble « roue » (20 kg) et caisse (200 kg).

Les simulations du modèle numérique ont permis de relever les réponses de l'amortisseur pour différentes sollicitations de fréquences et en faisant varier  $k$  ainsi que  $C$  de l'amortisseur.

Résultats des essais :



Question 2.5.2 **Comparer** les quatre courbes issues de la simulation numérique en argumentant. **Conclure** en identifiant la courbe qui répond au mieux aux conditions de confort. **Préciser** les valeurs optimums de  $k$  et  $C$ .

Pour une même raideur 45000 N/m (courbe verte et marron) et en modifiant la valeur du coefficient d'amortissement, on peut identifier que l'amplitude de la caisse augmente mais ne modifie pas la fréquence du mode caisse (3 Hz).

Lorsque l'on augmente la raideur en gardant un coefficient d'amortissement constant, on peut voir que l'amplitude reste importante et que la fréquence du mode caisse se décale vers la gauche ce qui nuit au confort.

La courbe la plus proche du critère de confort est celle en noir ( $k=15000\text{N/m}$  et  $C=2000\text{N.s/m}$ ). La fréquence du mode caisse est proche 1,15 Hz.

Question 2.5.3 **Comparer** la courbe retenue à la question précédente avec celle issue des essais sur prototype et **identifier** les causes possibles justifiant les écarts.

On peut voir que la fréquence propre du modèle est plus proche de 1,15 Hz que celle du prototype de même que l'amplitude est plus faible. Plusieurs causes peuvent justifier ces écarts :

Des raideurs (modèle et proto) de l'amortisseur ainsi que du pneu différentes.

Des coefficients d'amortissement (modèle et proto) de l'amortisseur ainsi que du pneu différents.

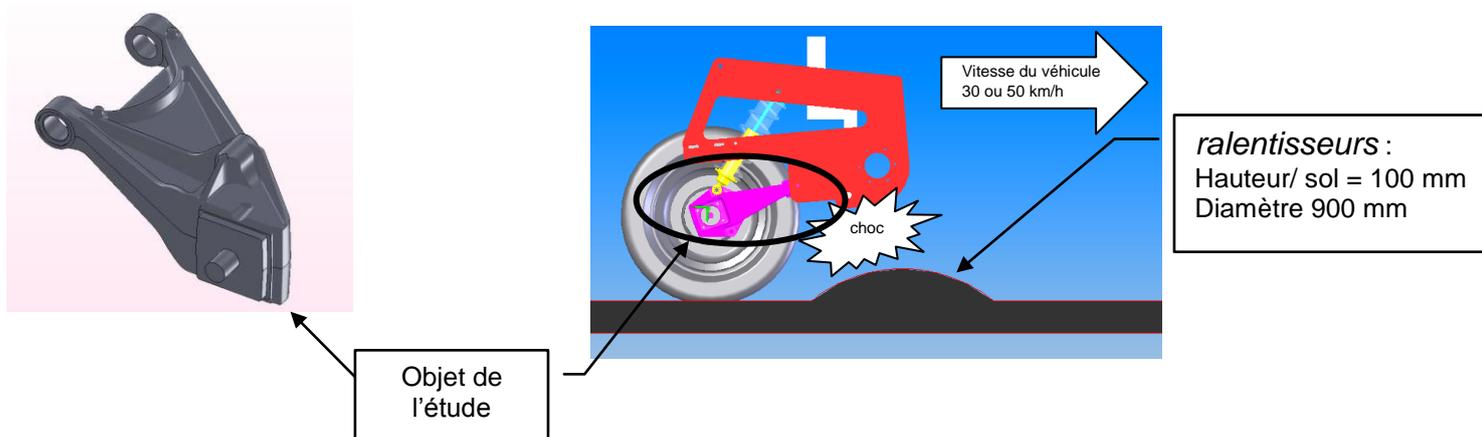
Masses et positions du centre de gravité différentes (modèle et proto).

Frottement dans les liaisons, ...

**Partie B** : pour assurer la sécurité des passagers, il convient maintenant de vérifier la bonne tenue du bras arrière aux sollicitations mécaniques.

Dans l'analyse de la modélisation qui suit, nous considérerons deux cas.

- 1<sup>er</sup> cas : passage de la F city sur un *ralentisseur* vitesse  $\Rightarrow$  30 km/h.
- 2<sup>ème</sup> cas: passage de la F city sur un *ralentisseur* vitesse  $\Rightarrow$  50 km/h.



### Analyse de la modélisation.

Question 2.5.4 À l'aide du document technique DT5, en analysant les 2 courbes relatives aux efforts subis par le bras, **relever** les valeurs des forces qui selon vous sont impératives à donner au logiciel de simulation en RDM. **Justifier** votre réponse.

Voir DT 5

Cas 1 :  $F_{\text{maxi}} = 4026 \text{ N}$

Cas 2 :  $F_{\text{maxi}} = 5462 \text{ N}$

On donne les valeurs maximales car cela correspond aux conditions les plus défavorables.

### Analyse des résultats obtenus à l'aide d'une simulation.

Question 2.5.5 À l'aide du document technique DT6, **indiquer** (valeur et unité):

Voir DT 6

- le coefficient de sécurité minimal pour la pièce
- la contrainte maximale relevée dans la pièce.

$C_s = 1,87$  (adimensionnel)

$\sigma_{\text{Maxi}} = 112,6 \text{ MPa}$

Question 2.5.6 Sur le document DR2, **relier** par une flèche la zone de contraintes maximales entre le dessin fig.1 et l'échelle de représentation des contraintes.

Voir DR 2

Question 2.5.7 **Observer** et **commenter** l'image des contraintes du document technique DT6.

Voir DT 6

L'endroit le plus sollicité est au niveau de liaison entre le bras et l'amortisseur

Question 2.5.8 Dans le document technique DT7, **rechercher** la limite élastique du matériau dans lequel est fabriqué le bras et **calculer** le coefficient de sécurité **CS**.

Voir DT 7

**Comparer** cette valeur à celle donnée par le logiciel et **conclure**.

Limite élastique  $R_e = 210 MPa$

$$C_s = \frac{210}{112,6} = 1,86 \text{ Résultat très proche de celui du logiciel}$$

## 2.6 - Vérification du choix du matériau par rapport aux contraintes techniques et environnementales.

Une étude assistée d'un logiciel de choix de matériaux montre que le bras de la F-city doit appartenir à la famille des alliages d'aluminium pour fonderie.

Problème posé : vérifier si l'alliage d'aluminium (AlSiMg) employé pour la fabrication (*moulage*) du bras est conforme ou non à quelques contraintes ciblées du cahier des charges (voir tableau ci-dessous).

*FC1 : résister au milieu extérieur*

*FC2 : tenir compte des impacts environnementaux*

*FC3 : être adapté au procédé de production*

Fonction	Sous fonction	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation	Indice de flexibilité
<b>FC1</b>	Résister à la corrosion	C1 : 10ans minimum	Corrosion protectrice	F1
<b>FC2</b>	Minimiser la masse	C2 : en regard aux conditions de résistance	$\rho$ < fonte-acier (6.8-8.1)	F0
	Minimiser l'empreinte carbone globale	C3 : tendre vers 8kg/kg	+2kg/KG	F1
	Être recyclable	C4 : 100%		F0
<b>FC3</b>	Être adapté à la production en séries renouvelables moyennes	C5 : moulable	Retrait maxi :5%	F0
			2000pièces/mois	F0

**Indices de flexibilité** : 0 impératif ; 1 un peu négociable ; 2 négociable ; 3 très négociable

Question 2.6.1 À l'aide du document technique DT7, **compléter** le diagramme « radar » donné sur le document réponse DR2.

Voir DT 7  
Voir DR 2

Question 2.6.2 **Analyser** l'allure du diagramme « radar » et **conclure**.

Voir DR 2

Avant d'adopter l'alliage d'aluminium comme matériaux pour la fabrication du bras arrière, une étude comparative d'impacts sur l'environnement (ACV) entre un bras en fonte et un en aluminium a été faite, voir l'extrait sur le document DT8.

Question 2.6.3 **Analyser** les résultats de l'empreinte CO<sub>2</sub> et l'énergie totale consommée des deux cas en répondant aux questions suivantes :

Voir DT8

- Le choix de l'alliage d'aluminium vous paraît-il justifié au regard des résultats ? pourquoi ?
- Quelle est la principale raison qui a contraint le concepteur à utiliser un alliage d'aluminium ?

Non, le choix de cet alliage ne semble pas justifié tant du point de vue de l’empreinte carbone que de l’énergie totale consommée.

La principale raison est la masse (poids) du bras.

## 2.7 - Conclusion sur le choix du véhicule

La gare TGV se trouve sur un site médian entre Belfort et Montbéliard. Afin de satisfaire une demande de ses usagers, la SNCF propose un service de location de véhicules électriques permettant de réaliser des trajets de courte distance.

La conception de ces véhicules doit pouvoir répondre complètement aux impératifs d’un concept « Autolib », à savoir :

- un système de location actuel,
- des performances de conduite suffisantes,
- une autonomie adaptée à la situation,
- un système de gestion à distance des charges des batteries,
- un confort satisfaisant,
- un impact environnemental limité.

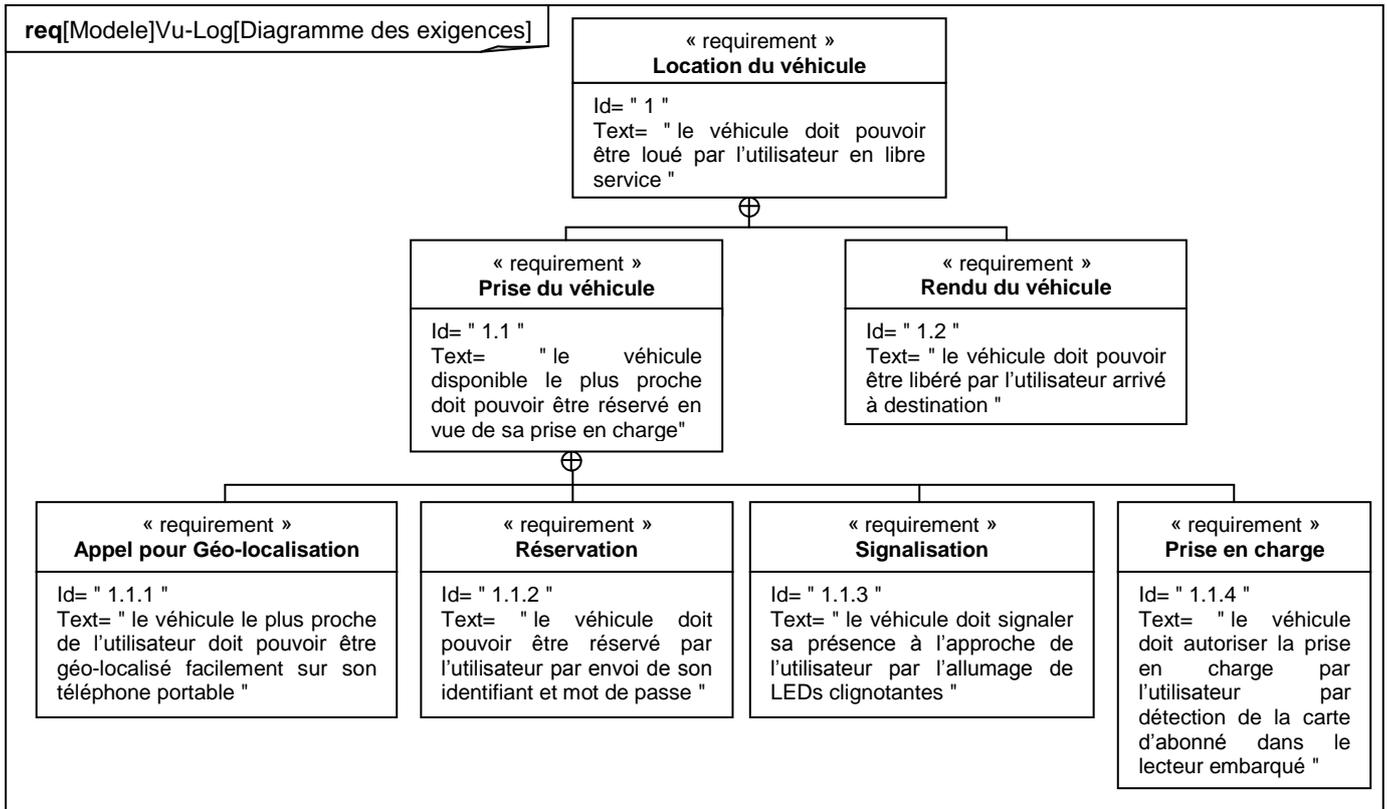
Question 2.7.1 Au vu des analyses effectuées dans les différentes parties, **conclure** sur le choix de retenir le véhicule F-City pour le projet « Autolib ».

Le véhicule F-City de conception de base avec le rack batteries Ni-Mh répond à tous les critères imposés au départ :

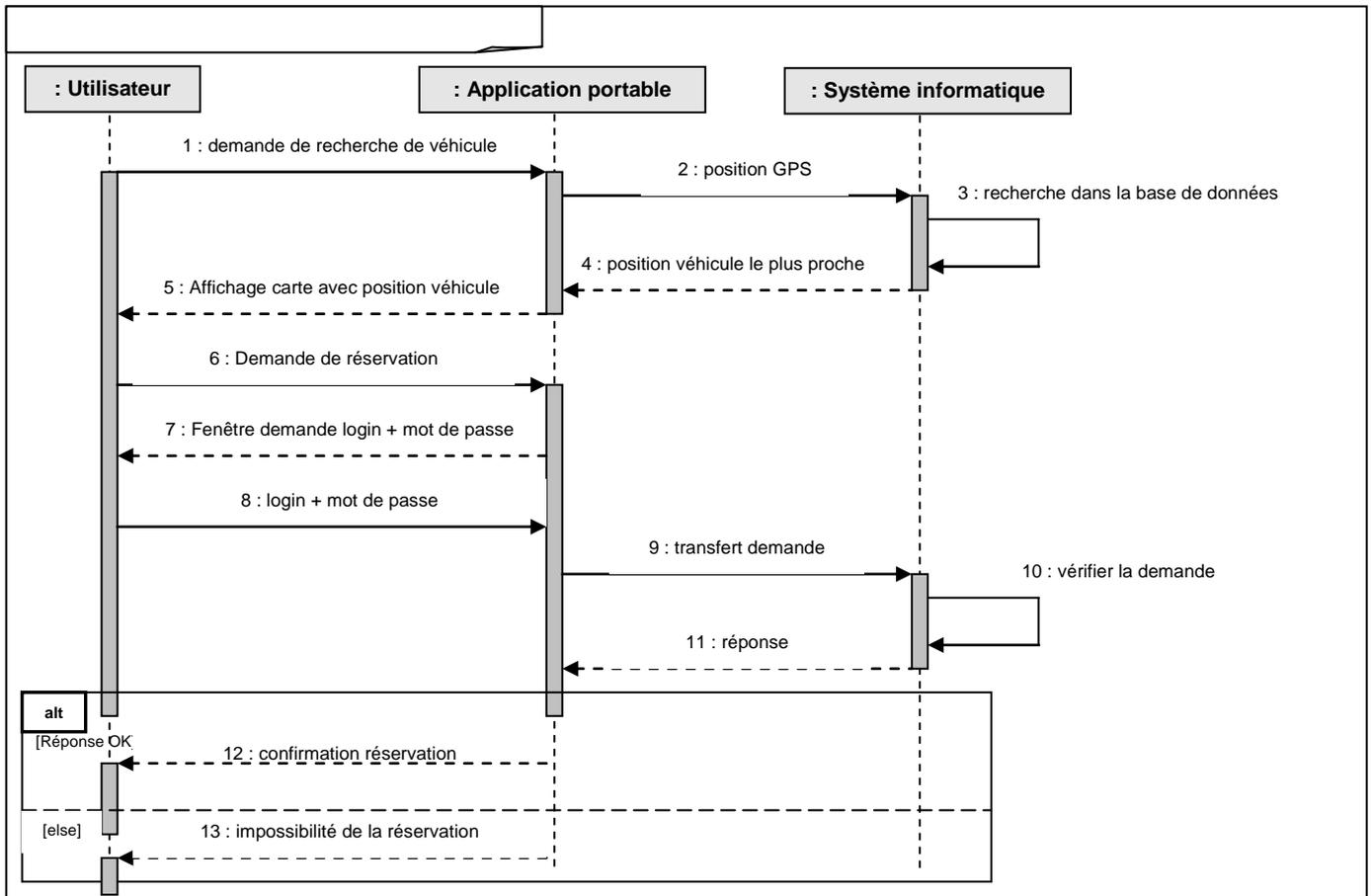
- une location facile et rapide de l'utilisateur par l'intermédiaire du concept Vu-Log
- des performances suffisantes pour s'insérer facilement dans la circulation que ce soit sur le plat et en montée.
- une autonomie de 100 km avec le projet Ni-Mh,
- un système de gestion permettant de signaler le taux de charge des batteries du véhicule avec la récupération de ses données via le bus CAN.
- un confort satisfaisant des usagers pour des trajets urbains.

# Document technique DT1

## Diagramme des exigences du concept « Vu-log ».

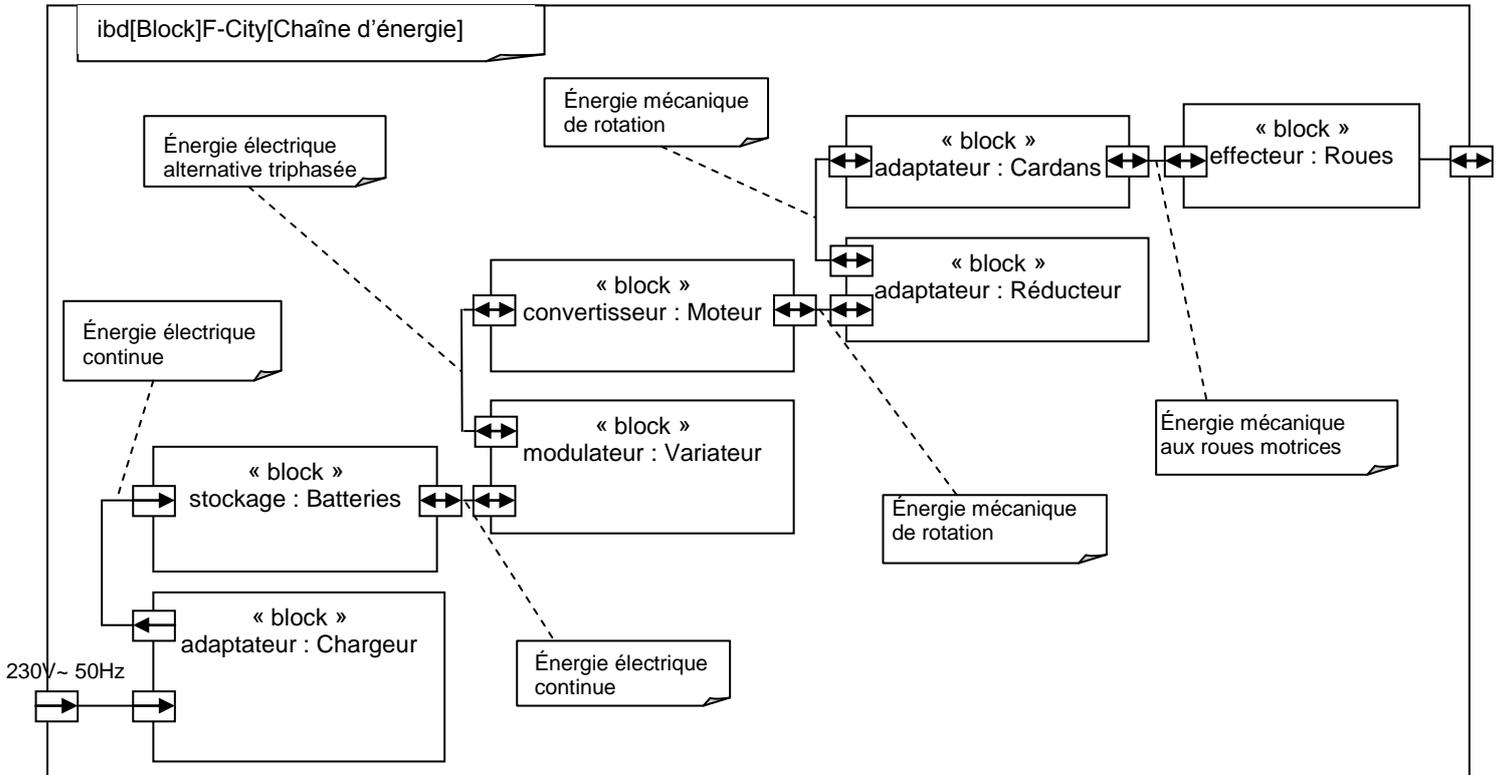


## Diagramme des interactions du concept « Vu-log »



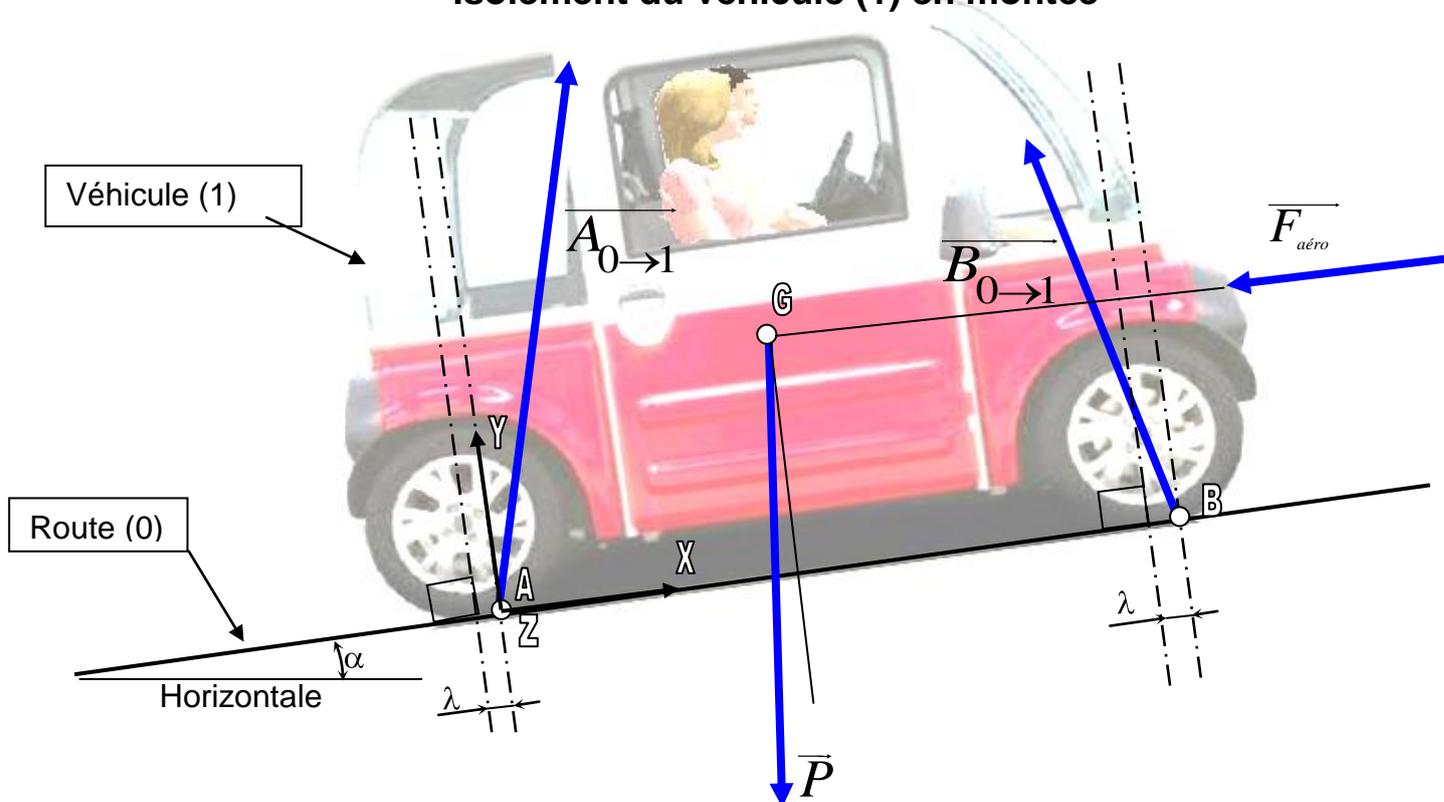
# Document technique DT1

## Diagramme de bloc interne « chaîne d'énergie véhicule F-City ».

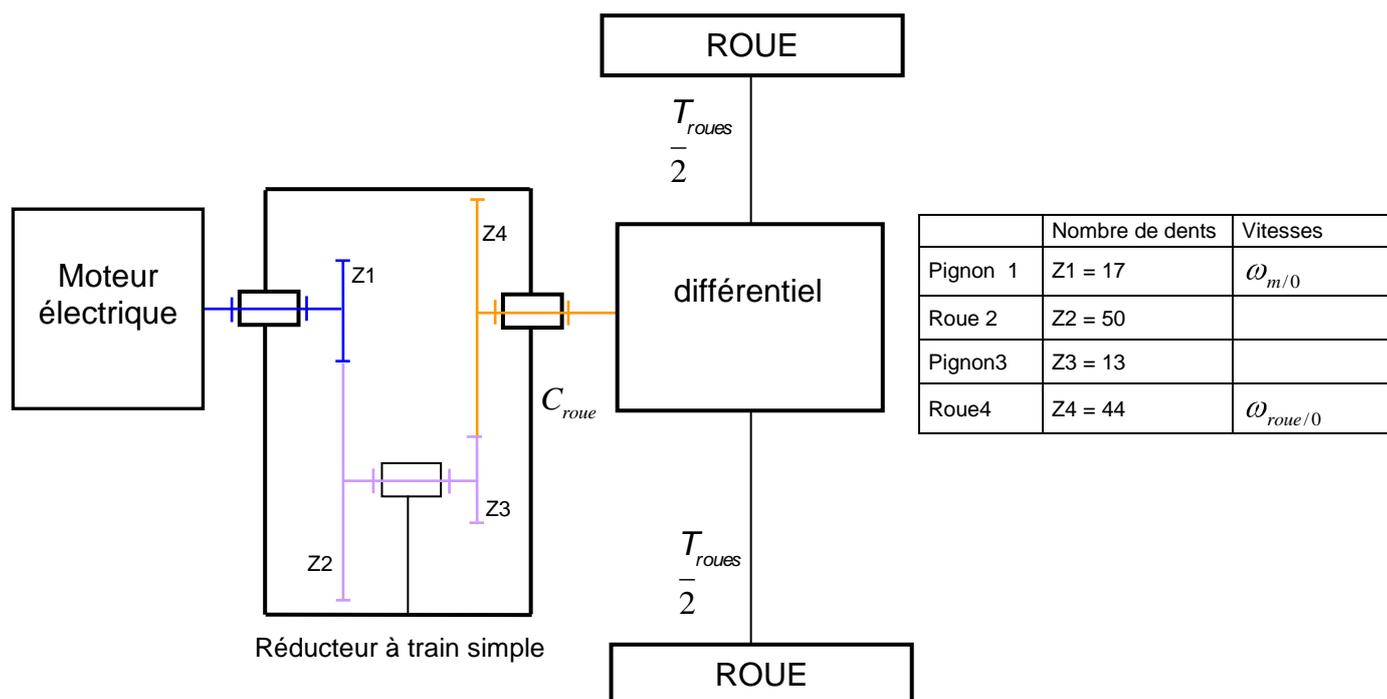


## Document technique DT2

### Isolement du véhicule (1) en montée

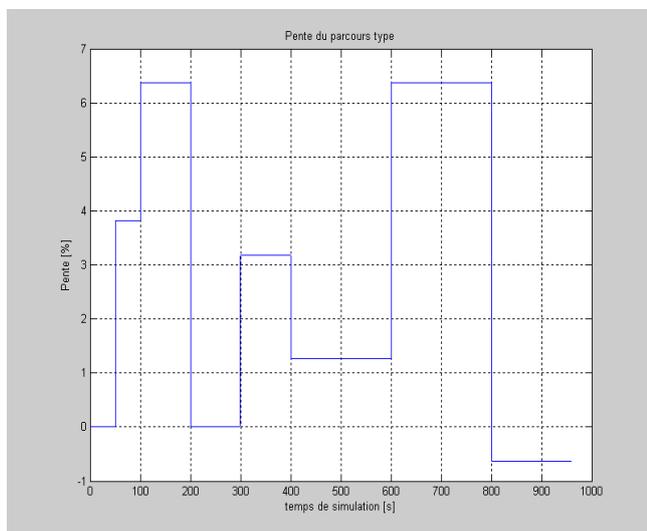


### Chaîne de transmission du véhicule.

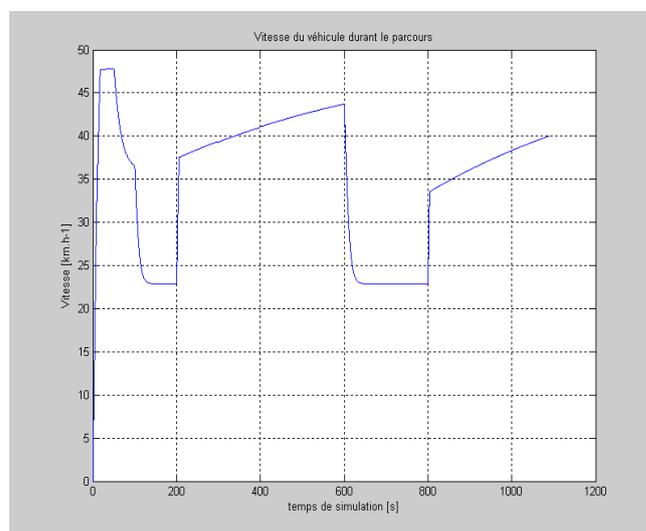
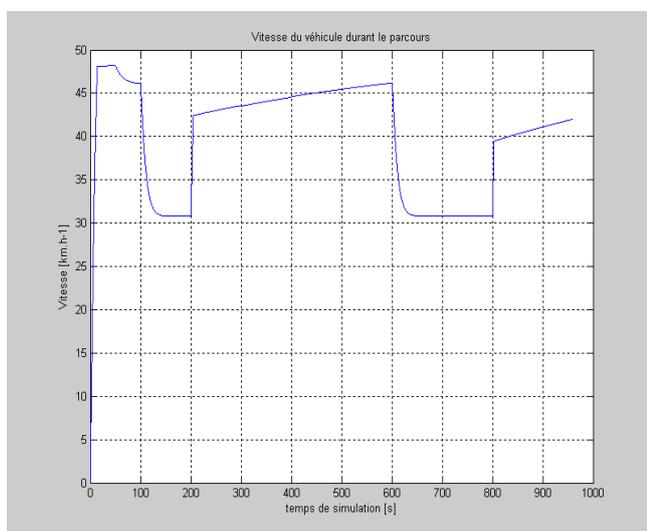
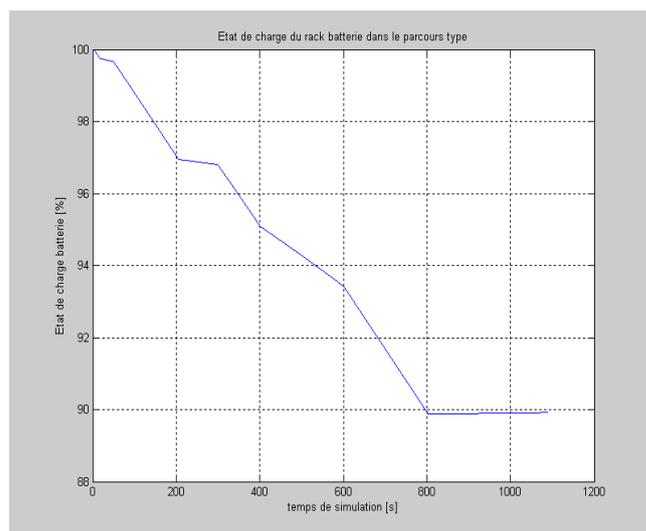
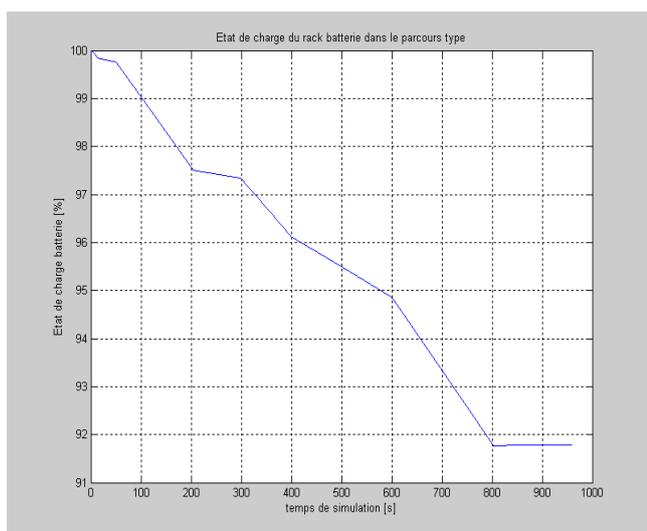
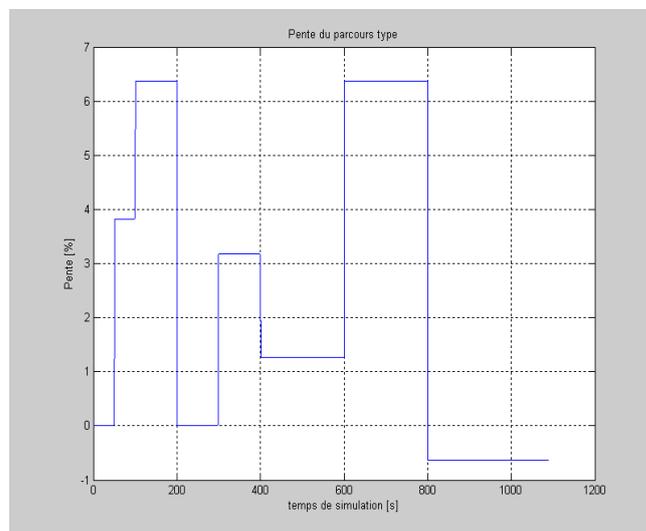


# Document technique DT3

## Résultats de la simulation avec un rack batteries NiMh

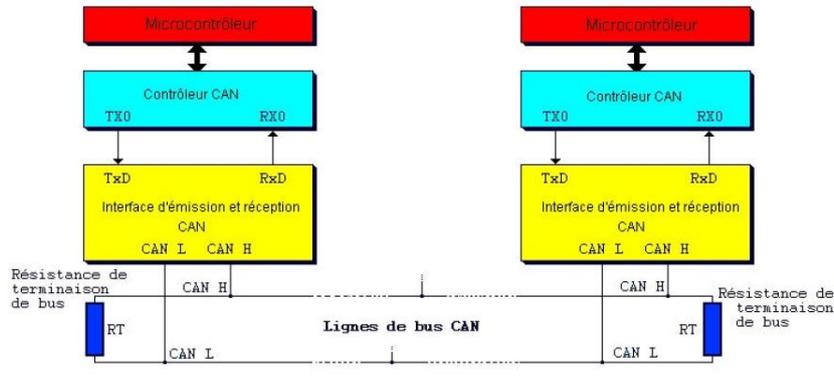


## Résultats de la simulation avec un rack batteries Plomb-acide

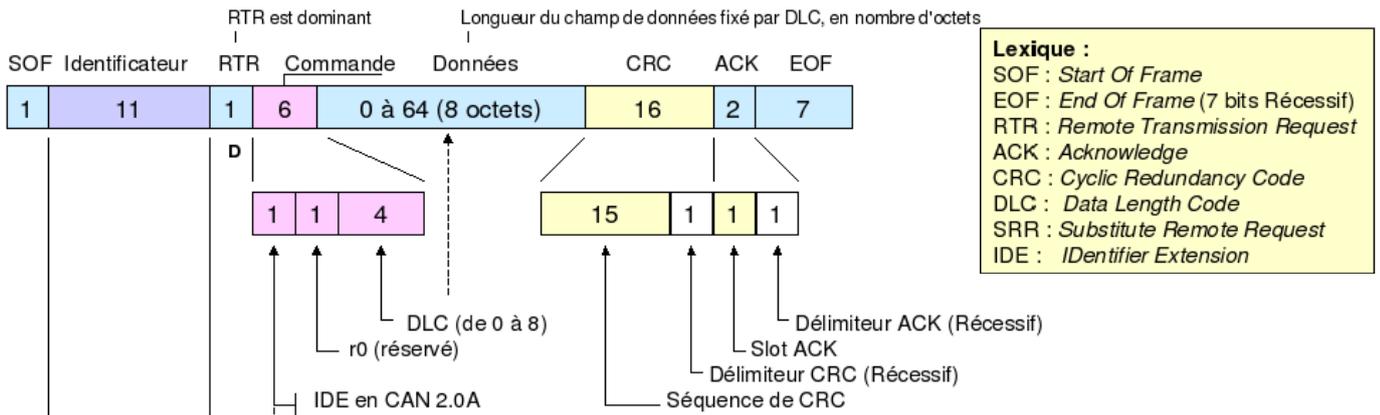


# Document technique DT4 : le bus CAN.

Le Bus CAN s'est rapidement imposé dans de très nombreux domaines de l'industrie. Il permet la transmission des informations entre les différentes unités de contrôle. Chaque unité assurant le multiplexage des informations à transmettre et leur sérialisation avant leur émission sur le bus.



Les informations numériques sont codées sous la forme de bits ou de paquets de bits, le tout formant une trame.

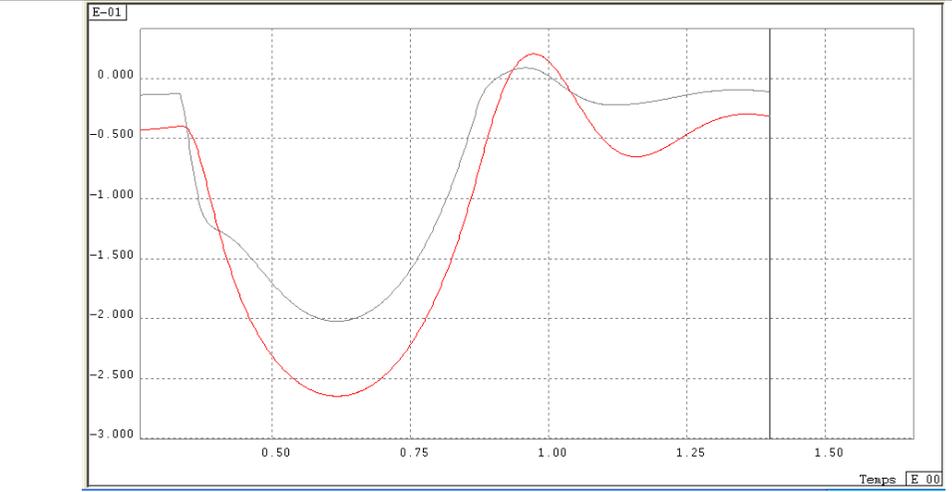
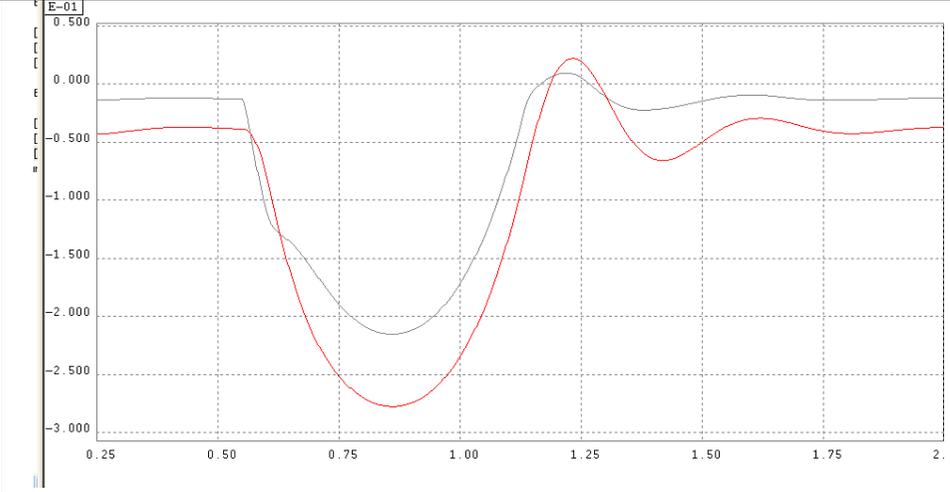


**Priorités** : en cas de demandes de prise du bus simultanées, les identificateurs de chaque message permettent aussi de définir quel message est prioritaire sur tel autre. C'est l'identifiant dont l'adresse est la plus faible qui est prioritaire.

# Document technique DT5

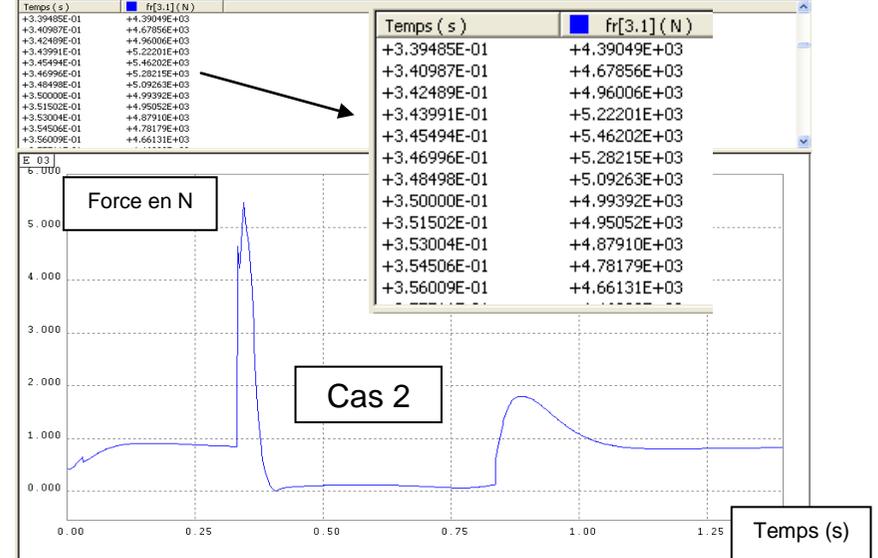
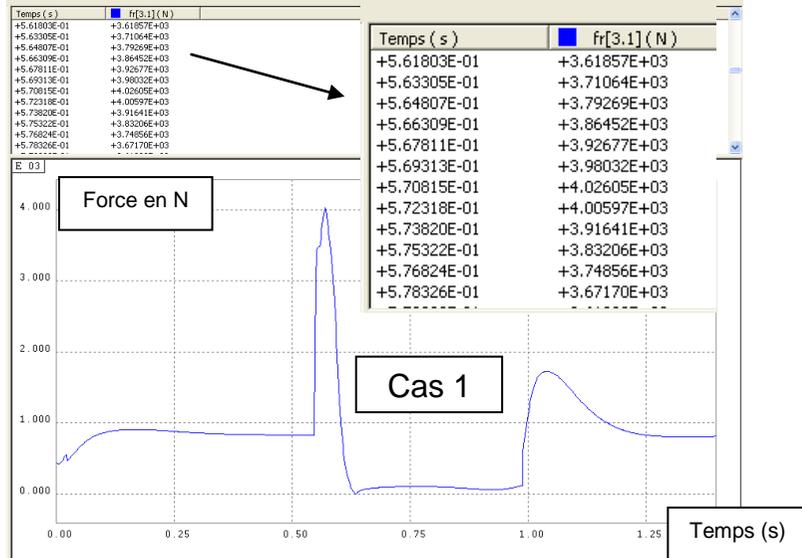
**Cas 1 : Amortissement pour une vitesse d'environ 30 km/h (8,4 m/s).**

**Cas 2 : Amortissement pour une pour une vitesse de 50 km/h (13.9 m/s)**

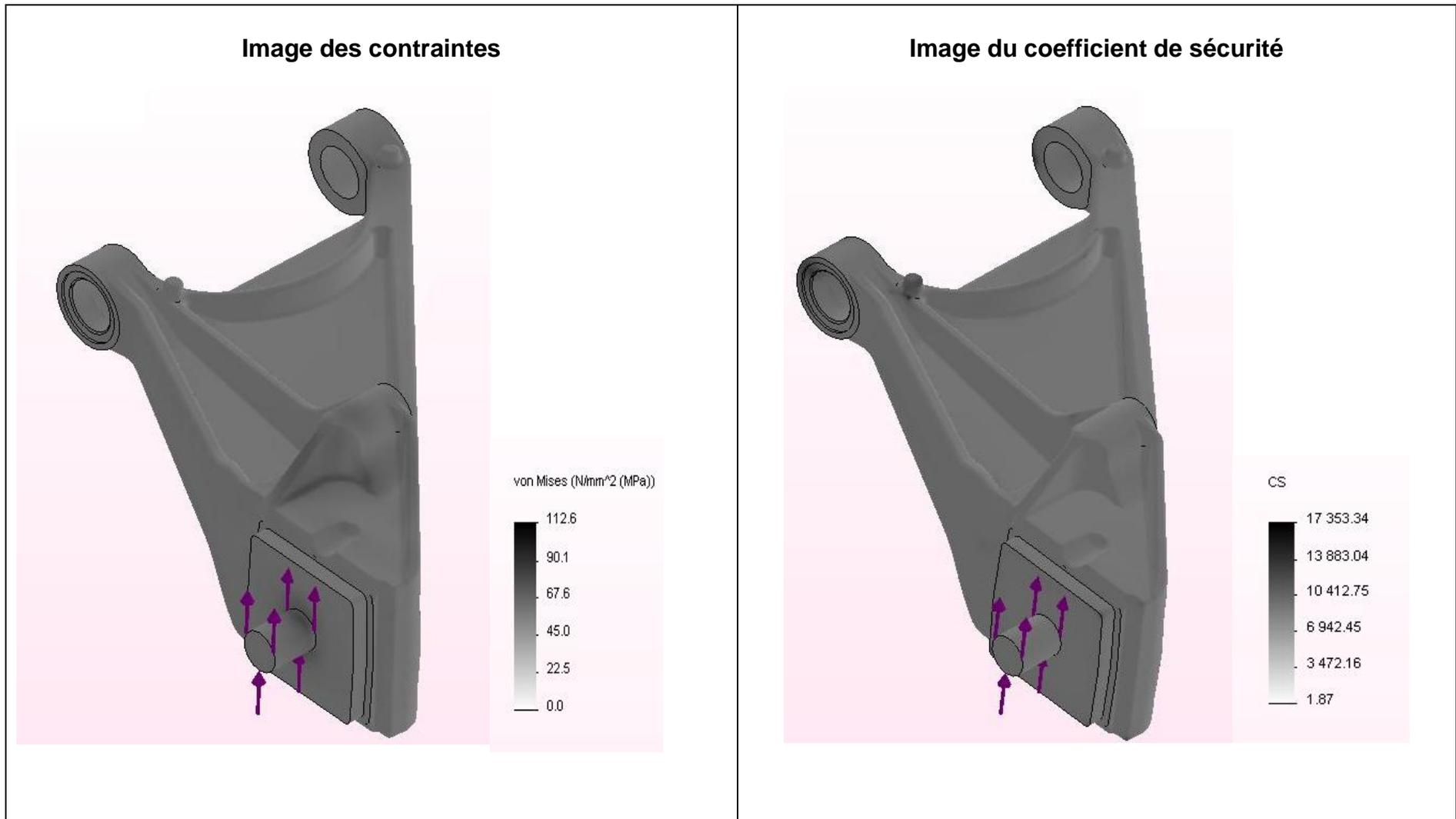


**Effort roue/bras**

**Effort roue/bras**



## Document technique DT6



## Document technique DT7

Nom de la pièce	Matériaux	Masse	volume	Limite d'élasticité
Bras arrière	AlSiM7Mg	4.0795 kg	0.0015222 m <sup>3</sup>	2.1e+008 N/m <sup>2</sup>

### Alliages d'aluminium pour fonderie

Presque tous les alliages d'aluminium pour la fonderie contiennent de 5 à 22 % de silicium (Si) – Le silicium rend l'alliage plus fluide de telle sorte qu'il remplit le moule et reproduit les détails fins même dans des sections peu épaisses. En ajoutant en plus du cuivre (Cu) ou du magnésium (Mg), on obtient des alliages qui se durcissent avec le temps. On utilise les alliages simples Al-Si pour les pièces de marine, la quincaillerie et les ustensiles de cuisine à cause de leur bonne résistance à la corrosion par l'eau salée ; on les utilise pour des pistons et la paroi des cylindres à cause de leur bonne conductivité thermique et de leur coefficient d'expansion faible. D'une manière générale, les alliages d'aluminium pour la fonderie ont une ductilité et une tenue mécanique plus faible que les alliages utilisés pour le forgeage qui durcissent avec le temps – peu ont une résistance à la traction supérieure à 350 MPa. Ils sont très adaptés à la production en grandes séries.



#### Composition (résumé)

Al + 5 - 22% Si, parfois avec un peu de Cu, Mg ou Zn pour permettre le durcissement dans le temps.

#### Propriétés générales

Masse volumique	2.5e3	-	2.9e3	kg/m <sup>3</sup>
Prix	* 1.3	-	1.43	EUR/kg

#### Propriétés mécaniques

Module de Young	72	-	89	GPa
Limite élastique	50	-	330	MPa
Résistance en traction	65	-	386	MPa

#### Possibilités de traitement

Coulabilité (aptitude à être moulé)	4	-	5	} de 1 mauvais à 5 excellent
Formabilité	3	-	4	
Usinabilité	4	-	5	

#### Production du matériau primaire: énergie, CO2 et eau

Énergie intrinsèque, production primaire	203	-	238	MJ/kg
Empreinte CO2, production primaire	12	-	13.1	kg/kg

#### Mise en œuvre du matériau: énergie

Énergie de moulage	* 2.17	-	2.62	MJ/kg
Energie d'usinage conventionnel (par unité de poids enlevée)	* 4.85	-	5.87	MJ/kg

#### Mise en œuvre du matériau: empreinte CO2

Moulage CO2	* 0.13	-	0.157	kg/kg
Forgeage, laminage CO2	* 0.199	-	0.24	kg/kg
Usinage conventionnel CO2 (par unité de poids enlevée)	* 0.388	-	0.47	kg/kg
Usinage non conventionnel CO2 (par unité de poids enlevée)	* 2.33	-	2.82	kg/kg

#### Recyclage du matériau: énergie, CO2 et fraction recyclée

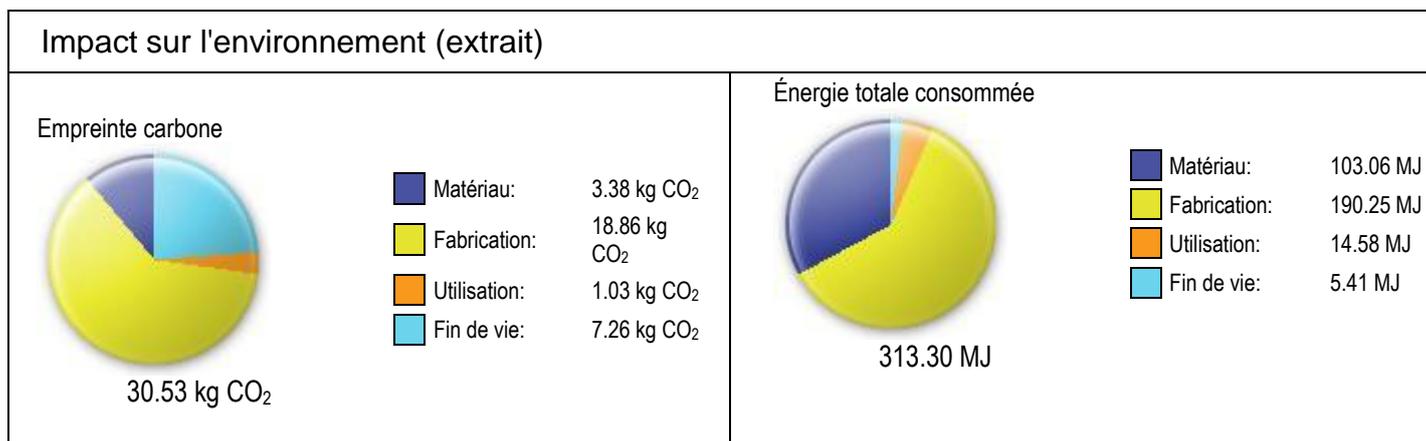
Recyclable	vrai			
Énergie intrinsèque, recyclage	18.3	-	21.4	MJ/kg
Empreinte CO2, recyclage	1.08	-	1.18	kg/kg
Réutilisable	Vrai			
Traitement en décharge	Vrai			
Ressource renouvelable?	Faux			

#### L'Environnement

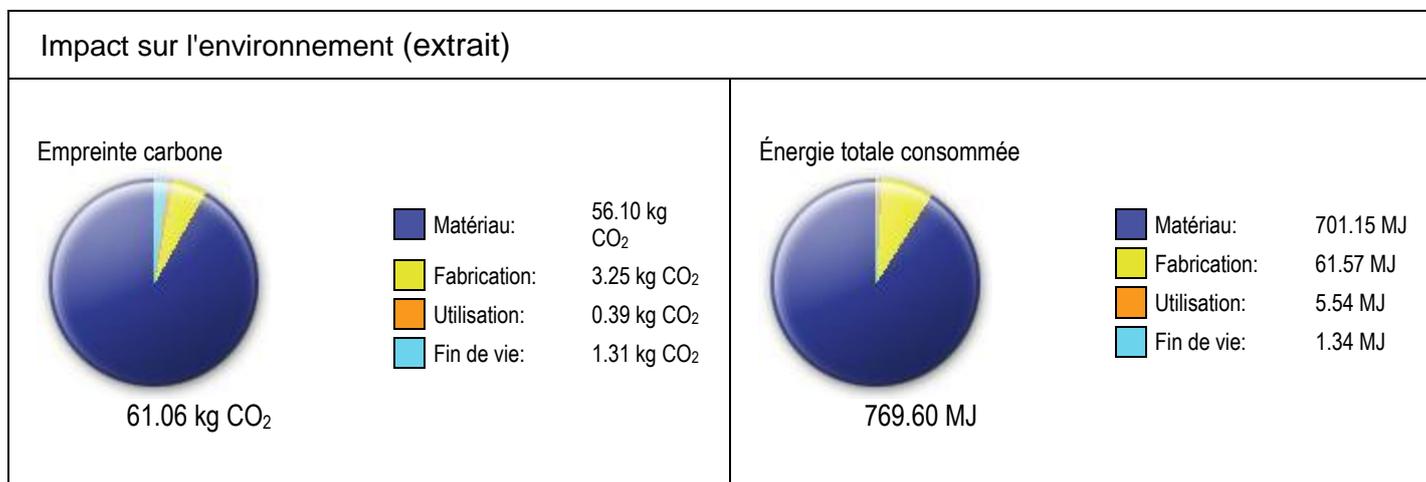
Le minerai d'aluminium est abondant. Il faut beaucoup d'énergie pour en extraire l'aluminium. Il est facilement recyclé.

## Document technique DT8

Nom du modèle: bras.sldprt  
 Matériau: Fonte ductile  
 Masse : 10807.64 g  
 Type de fabrication: Moulage au sable et usinage

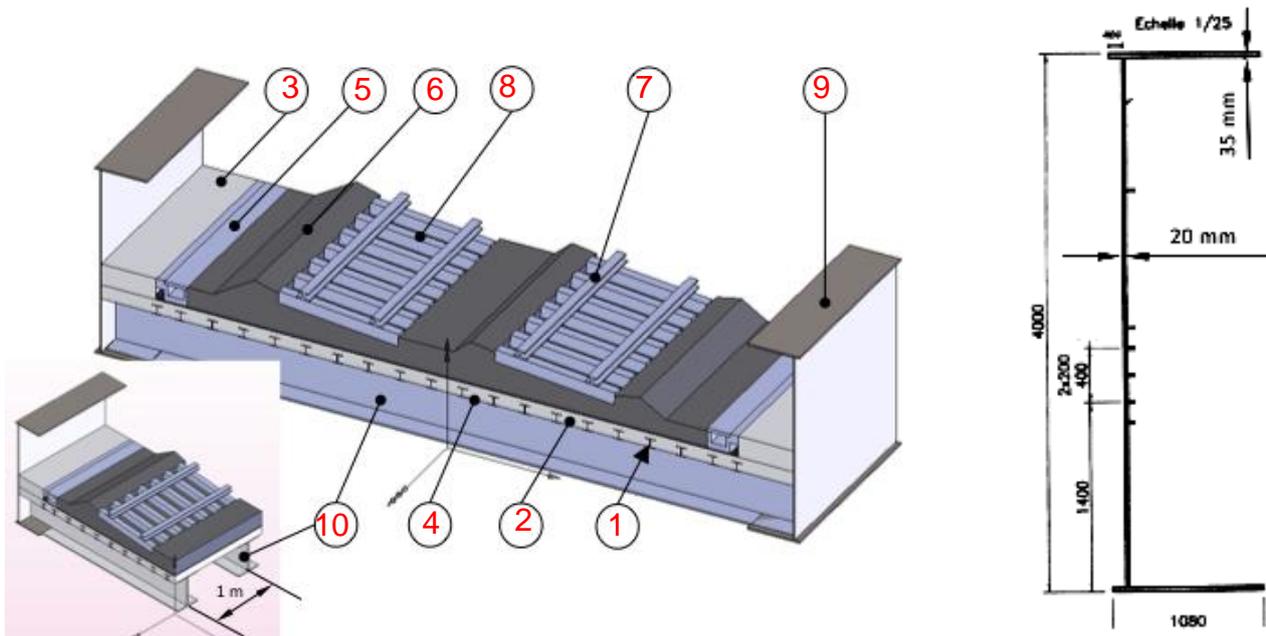


Nom du modèle: bras.sldprt  
 Matériau: AlSi7Mg  
 Masse : 4109.95 g  
 Type de fabrication: Moulage au sable et usinage



## Document réponse DR1

Question 1.1 : repérer les éléments de ① à ⑩ sur les figures ci-dessous.

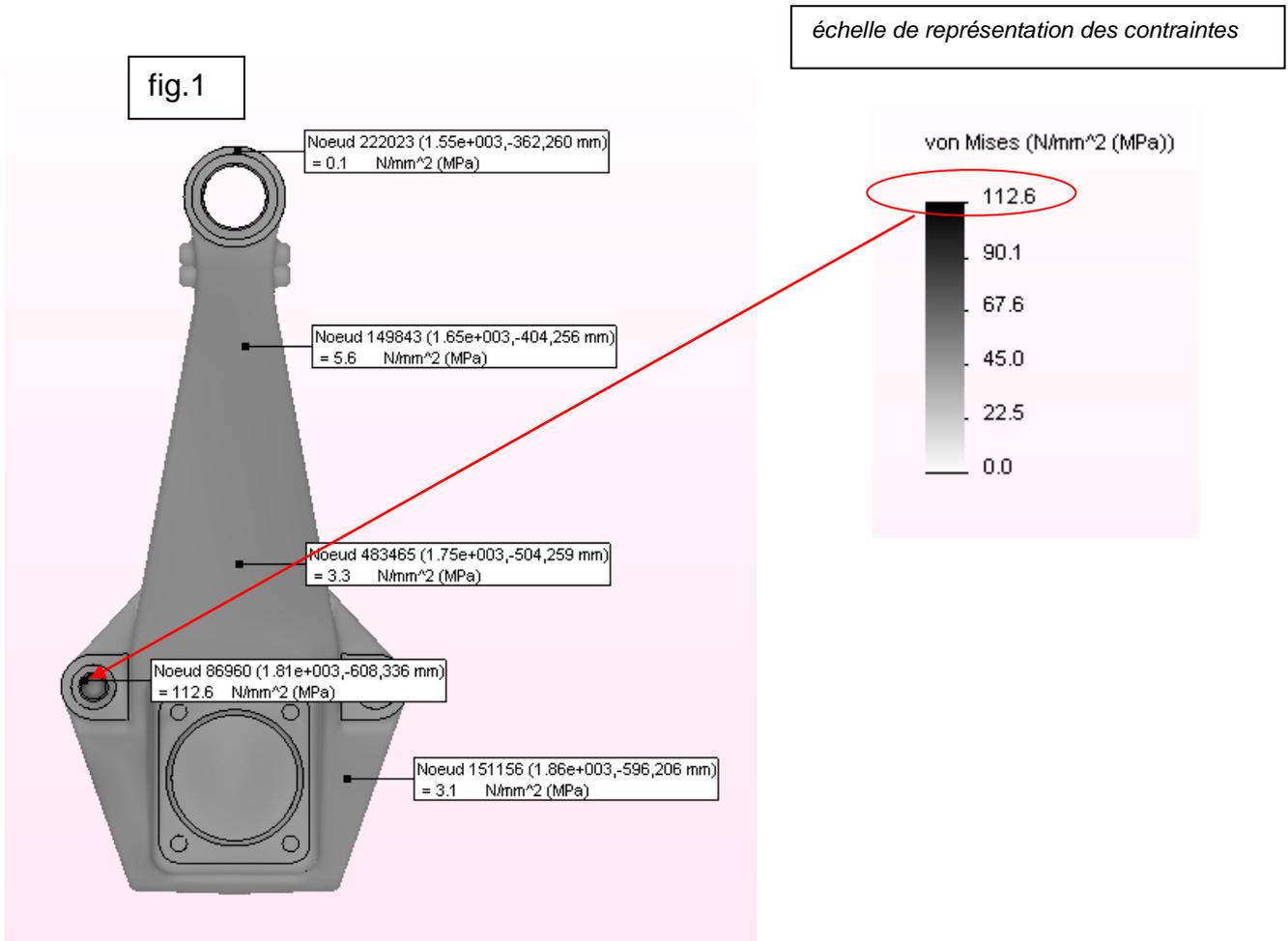


Question 1.2 : Compléter le tableau ci dessous pour calculer la charge totale

Tableau de calcul de la charge					
Rep	Désignations	Dimensions	Nb	Charge linéaire unitaire	Charge linéaire totale par repère
1	Profilés HEA 200	Pour 1 m linéaire	20	0,4 kN.m <sup>-1</sup>	8
2	Dalle en béton armé	Largeur 14,39 m et épaisseur 0,30 m	1	108 kN.m <sup>-1</sup>	108
3	Longrines en béton armé	Pour 1 m linéaire	2	13 kN.m <sup>-1</sup>	26
4	Film d'étanchéité	Pour 1 m linéaire	1	8,5 kN.m <sup>-1</sup>	8,5
5	Caniveaux techniques	Pour 1 m linéaire	2	2,5 kN.m <sup>-1</sup>	5
6	Ballast de masse volumique moyenne $\gamma_{ballast} = 20 \text{ kN.m}^{-3}$	Épaisseur moyenne : 0,60 m sur une largeur de 10,8 m	1	129,6 kN.m <sup>-1</sup>	129,6
7	Rails	Pour 1 m linéaire	4	0,6 kN.m <sup>-1</sup>	2,4
8	Traverses de voies en béton armé	Par voie pour 1 m linéaire	2	4,7 kN.m <sup>-1</sup>	9,4
9	Poutres principales Masse volumique $\gamma_{acier} = 78 \text{ kN.m}^{-3}$	Voir section ci-dessus	2	12,05 kN.m <sup>-1</sup>	24,1
10	Entretoises	Longueur 14,39 m	1	14 kN.m <sup>-1</sup>	14
<b>Charge linéaire totale p</b>					<b>335 kN.m<sup>-1</sup></b>
<b>Poids total d'une travée inter-pile</b>					<b>15260 N</b>
On ne prendra pas en compte les corniches, goujons, raidisseurs des poutres principales et les poteaux caténaies.					

# Document réponse DR2

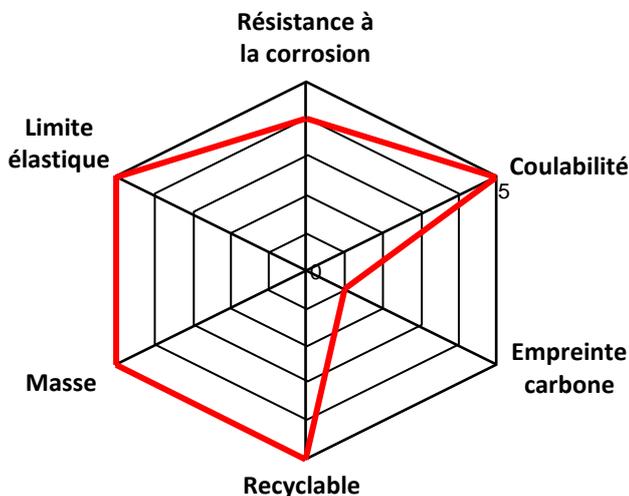
## Questions 2.5.6



## Question 2.6.1

Echelle de notation de 0 à 5 du centre vers l'extérieur du diagramme

Notes- appréciation	0 - mauvais	1 - faible	2 - médiocre	3- acceptable	4 - bon	5 - excellent
---------------------	-------------	------------	--------------	---------------	---------	---------------



Question 2.6.2 Conclusion :

**Empreinte carbone très médiocre sinon tous les autres critères sont bons voire très bons**

---



---



---



---